Brechungsindice

OPHTHALMIC HOSPITAL

18.

Die

Brechungsindices

der

Linse und der flüssigen Augenmedien

des

Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern

in vergleichenden Untersuchungen.

Von

Dr. med. Gustav Freytag

in München.

Habilitationsschrift.

Durch neue Untersuchungen vermehrte Ausgabe von:

Vergleichende Untersuchungen über die Brechungsindices der Linse und der flüssigen Augenmedien des Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern (Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden 1907).

Wiesbaden
Verlag von J. F. Bergmann
1908.

Die

Brechungsindices

der

Linse und der flüssigen Augenmedien

des

Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern

in vergleichenden Untersuchungen.

Von

Dr. med. Gustav Freytag

in München.

Einer

hohen medizinischen Fakultät

der

Kgl. Bayr. Ludwig-Maximilians-Universität in München

zur Erlangung der venia legendi

für Ophthalmologie

vorgelegte

Habilitationsschrift.

Durch neue Untersuchungen vermehrte Ausgabe von:

Vergleichende Untersuchungen über die Brechungsindices der Linse und der flüssigen Augenmedien des Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern (Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden 1907).

München 1908.

1669730

Inhalt.

Seite

A) Die Brechungsindices der Linse 5
1. Geschichtliches 6
2 Überblick über die bisherigen Untersuchungen 21
3. Eigene Untersuchungen 31
a) Aufgaben 31
b) Untersuchungen mit Abbe's Refraktometer 31
Methode 31
Ergebnisse 36
Oberflächliche Schicht 36
Kernzentrum 56
c) Untersuchungen mit Halben's Refraktometer 62
Besprechung des Apparates 65
Methode 72
Ergebnisse 78
B) Die Brechungsindices des Kammerwassers und Glaskörpers 90
C) Anhang. Maße und Gewichte einiger Linsen 101
D) Zusammenfassung 104
E) Literatur 106
F) Erklärung zu den Figuren 112
G) Diagramme und Kurven (Taf. I—XXXII).

1. Die Brechungsindices der Linse.

In der Dioptrik der menschlichen und tierischen Linse sind bekanntlich noch manche Fragen zu lösen. Bei physiologisch-optischen Untersuchungen, sofern sie nach Lage der Sache an totem Material vorgenommen werden müssen, kommt fast noch mehr als etwa in der Histologie die Verschiedenheit der Verhältnisse gegenüber dem lebenden Objekt in Betracht. Um so mehr, je später nach dem Tode die Augen zur Untersuchung kommen. Im besonderen ist der Brechungsindex einer organischen Substanz so sehr von ihrem Wassergehalt abhängig, daß man mit der Übertragung aller an Leichen gewonnenen Ergebnisse auf das lebende, funktionierende Organ vorsichtig sein muß. Diese Einschränkung ist von vornherein bei allen Brechungsindexbestimmungen zu machen. Ferner aber stellt der eigentümliche Bau der Linse der direkten Bestimmung sowohl wie der Berechnung ihres Brechwertes erhebliche Schwierigkeiten in den Weg, wie aus den Arbeiten aller, die sich damit beschäftigt haben, hervorgeht.

Besonderer Ergänzung bedürftig erscheinen noch unsere Kenntnisse von den Veränderungen der optischen Eigenschaften der Krystallinse während des Lebens.

Bekanntlich sind, wie ich auch schon a. a. O. andeutete (104), „die Bedingungen, unter denen sich die Brechkraft der Linse oder einzelner Teile derselben zu ändern in der Lage ist, gegeben durch Änderungen der Krümmung und des Brechungscoefficienten.“ Bestimmungen des letzteren wurden bereits zahlreiche gemacht. Da die Linse kein optisch homogenes Gebilde darstellt, sondern aus concentrischen Schichten mit nach innen zunehmender Brechkraft besteht, so kann nicht von einem Brechungsindex der Linsensubstanz gesprochen

werden, sondern nur von Partialindices einzelner Schichten. Der Totalindex der ganzen Linse ist dann derjenige Index, der einer ideellen, optisch homogenen Linse von gleicher Gestalt und Brennweite wie die wirkliche zukommen würde. Durch Senff (16), Helmholtz (26) u. a. wurde nachgewiesen, daß dieser Totalindex höher als derjenige der am stärksten brechenden Schicht der Linse sein muß. Er kann demnach nicht direkt gemessen, sondern nur durch Rechnung gefunden werden. Hier soll er indessen nur gelegentlich in Berücksichtigung gezogen werden, während die direkter Messung zugänglichen Einzelindices den Hauptgegenstand der Untersuchung bilden werden.

Zur Würdigung der dabei sich bietenden Aufgaben scheint es wohl angebracht, das bisher auf dem Gebiete der Indexbestimmung der Linse des Menschen und höherer Tiere Geleistete unter Berücksichtigung der auf verschiedene Lebensalter bezüglichen Beobachtungen zu betrachten. Hierbei werden hauptsächlich die neueren Arbeiten näher zu besprechen sein, während die älteren, teilweise auch allgemeiner bekannten, nur kürzerer Erwähnung bedürfen.

Schon im Jahre 1619 wußte Scheiner (1), daß die Linse optisch dichter ist als die Augenflüssigkeiten; er verglich ihre brechende Kraft mit der des Glases, die der flüssigen Medien dagegen mit der des Wassers. Hauksbee (2) brachte 1710 die Linse eines Ochsen in ein Hohlprisma und berechnete aus der Ablenkung eines Lichtstrahles hierdurch das Brechungsvermögen der Linsensubstanz zu 10000 : 6832,7 = 1,464. Er erkannte bereits die Schwierigkeit einer genauen Bestimmung infolge der Zunahme der optischen Dichte von der Oberfläche nach dem Kern zu. Petit (4—7) gab an, daß die Dichte der Linse bei allen Tieren mit den Jahren zunehme. Wintringham (8), dessen Arbeit mir im Original nicht zugänglich war, bestimmte nach Zehender (25) den Brechungsindex der Linse zu 1,4026. Wie Hauksbee und Petit wußte auch Porterfield (9) schon 1759, daß die Linse in der Mitte dichter sei und erkannte die Wichtigkeit dieser Tatsache für den Aplanatismus des Organs. Bei der Berechnung ihres Brechungsvermögens ging er jedoch von der Annahme aus, daß dasselbe in direktem Verhältnis zu dem spezifischen Gewicht stehe, wozu er zweifellos nicht so ohne weiteres berechtigt war; er kam so zu dem sicher viel zu niedrigen Wert 1,3645. Wollaston (12) gab 1802 eine Methode zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens an, die auf dem Prinzipe der Totalreflexion beruhte; aus der Größe des Einfalls-

winkels, bei welchem diese an der Grenzfläche von Glas und zu untersuchender Substanz eintrat, wurde dann der Brechungsindex berechnet. Der Grenzwinkel der Totalreflexion war beim Eintritt der größten Lichtintensität des reflektierten Strahles erreicht. Wollaston fand so für die Ochsenlinse einen mittleren Brechungsindex von 1,43, für das Kernzentrum 1,447 und die Oberfläche 1,38. Die beiden letzteren Werte besitzen bereits große Genauigkeit. Th. Young (11) erhielt mit derselben Methode bei der menschlichen Linse für den Kern „dans l'état de vie" 1,4144, nach dem Tode infolge von Wasseraufnahme 1,4026, den Totalindex nahm er wegen des geschichteten Baues der Linse höher an als irgend einen Teilindex, nämlich zu 1,4359. Chossat (13) bestimmte (1818) die Brechungsindices der durchsichtigen Medien vom Menschen, Bären, Elefanten, Ochsen, Truthahn und Karpfen. Er fand u. a. folgende Werte:

Linse	Mensch	Ochs	Schwein	Truthahn
äußere Schicht	1,338	1,375	1,386	1,383
mittlere Schichten	1,395	1,403	1,395	1,387
		1,416		1,392
		1,432		1,396
		1,438		1,399
Kernschicht	1,42	1,44	1,424	1,403

Ein bestimmtes Gesetz der Zunahme des Index von außen nach innen konnte Chossat nicht finden, schob es aber auf die Unvollkommenheit der Methode. Diese war dieselbe, die, nach Angaben von Euler, Brewster für Flüssigkeiten ausgebildet hatte. Das Medium wurde zwischen ein Convex- und Planglas gebracht und die Brennweite dieses Objektivs mit dem Mikroskop bestimmt. Als Mangel des Verfahrens bezeichnet Chossat die Schwierigkeit, den Brennpunkt ganz genau zu bestimmen und den hierdurch verschiedenen Beobachtern gegebenen Spielraum. Die Untersuchung müsse rasch und bei möglichst großem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ausgeführt werden, weil die Vertrocknung die Brechkraft der Linse erhöhe. Mit diesen Vorsichtsmaßregeln aber komme man stets zu einem „zentralen Kern von konstanter Refraktion". Brewster (14) selbst wandte für die Medien des Menschen eine andere Methode, ähnlich der von Hauksbee an. Die zu untersuchende Substanz wurde in ein aus Glasplatten gebildetes Hohlprisma gebracht und die Ablenkung eines Lichtstrahles hierdurch verglichen mit der durch Wasser verursachten. Es wurde eine

einzige menschliche Linse untersucht, bei der sich folgende Indices ergaben:

Äußere Schicht	1,3767
Mittlere Schicht	1,3786
Kernschicht	1,399
Ganze Linse	1,3839

(ganz in das Prisma gebracht).

Brewster hält es für möglich, daß Chossats Linse eine größere Dichte als seine hatte, die von einer 50jährigen stammte. Senff (16) erhielt nach Volkmann für die Ochsenlinse:

Äußere Grenzschicht	1,374
Kernteil	1,453
(Totalindex	1,539)

Listing (22) machte selbst keine Messungen der Brechungsindices, er betonte, daß die bisherigen Ergebnisse so sehr von einander abwichen, daß man eigentlich jedes Auge für sich betrachten müsse. Als vermutlich brauchbarsten Wert für das Brechungsvermögen der Linsensubstanz nahm er den Bruch $^{16}/_{11}$ (= 1,454) an. Engel (21) berechnete den Linsenexponenten durch Bestimmung der Bilddistanz mit dem Mikroskop. Er meinte, die Zahlen wechselten so sehr, daß man am besten vorläufig gar keine Formeln ableite. In der Tat erhielt Engel für 22 menschliche Linsen aus verschiedenen Lebensaltern sehr differente Werte, z. B.

¾ Jahr	1,2811	34 Jahre	1,3519
5 Jahre	1,2734	36 „	1,4881
18 „	1,4044	47 „	1,5139
26 „	1,5471	51 „	1,3073
28 „	1,3145	75 „	1,2820

Er schloß daraus, daß der Brechungsexponent bis zum 13. Jahre am kleinsten sei, von da bis zum 30. Jahre zunehme und dann bis in das höchste Alter wieder sinke. Manchmal sei die peripherste Schicht stärker brechend als der Kern. Obwohl hier zum ersten Male systematisch verschiedene Lebensalter berücksichtigt wurden, so kann der Wert dieser Untersuchungen, von den andererseits gegen die mathematischen Deduktionen Engels erhobenen Einwänden ganz abgesehen, schon deshalb nur sehr gering veranschlagt werden, weil die verwendeten Linsen nicht nur teilweise mehrere Tage alt waren, sondern auch zur Erhaltung bezw. Wiedergewinnung der Durchsichtigkeit unter

anderem dem Winde und Sonnenlichte ausgesetzt und hernach mit Glaskörper befeuchtet wurden. Ryba (23) kritisierte Engels Methode und modifizierte seine Berechnungsart, ohne indessen eigene Messungen der Augenmedien hinzuzufügen. W. Krause (24) veränderte zu seinen Untersuchungen nach dem Vorgange von Cahours und Becquerel (15) das Objektiv Brewsters, auch maß er nicht den Brennpunktabstand, sondern die Größe der entworfenen Bilder. Helmholtz und Zehender (25) erörtern die Methode des näheren. (Es muß bemerkt werden, daß Krauses Ergebnisse später von Mönnich (65) als durchaus unzuverlässig bezeichnet werden.) Seine Werte für die menschliche Linse sind:

	Äußere Schicht	Mittl. Schicht	Kern
Minimum	1,3431	1,3523	1,4252
Maximum	1,4743	1,4775	1,4807
im Mittel	1,4053	1,4294	1,4541

Wie man sieht, weichen die Zahlen beträchtlich von denen der übrigen Forscher ab. Helmholtz (26) schloß eine Probe der zu untersuchenden Substanz zwischen ein Planglas und eine Planconcavlinse ein und maß die Bilder dieses optischen Systems mit dem Ophthalmometer; hieraus berechnete er die Brennweite. (Außerdem konnte der Radius der concaven Linsenfläche direkt mit dem Ophthalmometer bestimmt werden.) Auf diese Weise fand Helmholtz für die äußerste Linsenschicht den Brechungsindex 1,4189. Den Totalindex zweier menschlicher Linsen (sowie die anderen Constanten derselben) ermittelte er auf etwas andere Weise. Er umgab die in einem senkrechten zylindrischen Gefäße horizontal auf einem ringförmigen Vorsprunge desselben gelagerte Linse mit Glaskörper und maß mit dem Ophthalmometer die Größe der von einem Objekte durch sie entworfenen Bilder, die er durch ein auf dem Gefäße befestigtes Prisma für das horizontal aufgestellte Instrument sichtbar machte. Helmholtz berechnete so das totale Brechungsvermögen der beiden Linsen auf 1,4519 bezw. 1,4414; später ermäßigte er den Wert des Totalindex auf 1,4371. Zehender (25) nahm 1856 teils nach gegebenen Zahlen, teils willkürlich für die menschliche Linse folgende Brechwerte an:

Vordere äußerste Schicht	1,3360
„ mittlere Schichten	1,3767 1,3786
Kernschicht	1,3990

Hintere mittlere Schicht	1,3786
„ äußerste Schicht	1,3394
Totalindex	1,4098

Er unterschied drei Hauptschichten der Linsensubstanz, ohne daß er sie indessen für optisch völlig homogen ansah. Es verlohnt sich, Zehenders Anschauung im Wortlaut zu zitieren, da sie, obwohl zwischendurch verlassen, teilweise durch die neuesten Beobachtungen wieder bestätigt wird: „Weit wahrscheinlicher ist es, daß der Brechungsindex der Linsensubstanz allmählich gegen das Zentrum hin zunehme, oder daß jede einzelne der drei Schichten selbst wieder aus einer großen Anzahl verschwindend kleiner Schichten bestehe, deren jede einen um so höheren Brechungsindex hat, je näher sie dem innersten Kernpunkt der Linse gelegen ist. . . . Hierbei bleibt es übrigens unbenommen, an denjenigen Stellen, welche sich besonders deutlich als Grenzen der einzelnen Hauptschichten markieren, auch eine bedeutende Differenz oder eine gleichsam sprungweise Zunahme des Brechungsindex vorauszusetzen, wodurch das Gesagte im wesentlichen keine Veränderung erleidet.“ Zehender macht endlich noch starke Einwürfe gegen die Arbeit von Engel, hauptsächlich vom mathematischen Standpunkt. Donders (28) erblickte, obwohl er keine eigenen Untersuchungen anstellte, für die jenseits des 50. Lebensjahres sich einstellende leichte Hypermetropie des bis dahin emmetropischen menschlichen Auges die Ursache in folgendem Umstand: „Diese (Ursache) ist, wenn ich nicht irre, vorzugsweise die mehr gleichmäßige Dichtigkeit in den verschiedenen Schichten der Linse. Daß die äußere Schicht dichter wird, wird bewiesen durch Zunahme der Deutlichkeit der Reflexbilder der vorderen und hinteren Linsenfläche. . . . Außerdem scheint die Linse im Alter auch flacher zu werden.“

Es wurden also hier zuerst Änderungen in den optischen Verhältnissen der Linse während des Lebens als regelmäßig hingestellt und darauf die Lehre von der sogenannten Altershypermetropie gegründet, die, der vorsichtigen Fassung Donders' entkleidet, bis in die neueste Zeit mangels exakter Untersuchungen der fraglichen Verhältnisse in der Ophthalmologie herrschte. Dies ist umso auffallender, als sich der täglichen Erfahrung des Augenarztes eigentlich das Gegenteil darbot: eine im Alter mehr und mehr für Gesichts- und Tastsinn deutliche Scheidung der Linse in einen consistenteren Kern und die davon oft

recht circumscript abstreifbare Rinde. Obwohl jeder Staroperateur wußte, daß nur in Ausnahmefällen die alte Linse als homogenes Gebilde im ganzen entbunden wurde, hielt man an der Zunahme der optischen Homogenität größtenteils auch dann noch fest, als neue Untersuchungen anderes ergaben.

Woinow (37) untersuchte nämlich 1874 vier menschliche Linsen verschiedenen Alters eine Stunde nach der Enucleation am Lebenden, indem er die Partialindices mit der Methode Krauses, den Totalindex naeh der von Helmholtz ermittelte. Seine Ergebnisse waren:

Alter:	Äuß. Schicht	Mittl. Schicht	Kern	Totalindex
2—3 Jahre	1,3904	1,4003	1,4281	1,4311
3 „				1,4303
16 „	1,3932	1,4199	1,4315	1,4362
47 „	1,4005	1,4232	1,4387	1,4411

Er fand also 1. daß der Totalindex im Alter sukzessive höher wurde, 2. daß die Indexdifferenzen zwischen den einzelnen Sehichten mit zunehmendem Alter konstant blieben und nieht kleiner wurden. Becker (37) bemerkte zu Woinows Ergebnissen: Neu sei an ihnen, daß nicht mit zunehmendem Alter eine größere Homogenität der einzelnen Schiehten stattfände, sondern daß der Untersehied zwischen Peripherie und Nucleus bleibend sei.

Um die Donders'sehe Ansehauung bei den Faehgenossen erschüttern zu können, waren Woinows Untersuchungen nicht nur zu wenig umfangreich (war doch von einer der vier Linsen nur der Totalindex und lediglich von dreien aueh der Breehwert verschiedener Sehiehten ermittelt worden), sondern die älteste Linse war auch nur 47 Jahre alt, während die eigentliche Alters hypermetropie doch überhaupt erst von diesem Zeitpunkte an in Betracht kommt. Mauthners (41) in seinem zwei Jahre später erscheinenden Werke niedergelegte Ansehauungen über die Altersveränderungen der Linse deckten sich daher auch noch im wesentlichen mit der von Donders. Obwohl Mauthner annahm, daß der Linsenkern im Alter dichter als in der Jugend sei, glaubte er doch, daß das Auge durch noch stärkere Zunahme des Breehungsvermögens der Rindenschichten und die hierdureh bedingte größere Homogenität der Linse hypermetropischer werde. 1874 stellte Abbe (38) sein „Refractometer" zur Bestimmung des Breehungsindex flüssiger und fester durehsichtiger Körper der Wissen-

schaft zur Verfügung. Sein Prinzip gründet sich bekanntlich wie das des Wollaston'schen Prismas auf Feststellung des Grenzwinkels der Totalreflexion, welcher ein Lichtstrahl an der Grenzfläche von Glas und zu prüfender Substanz unterliegt. Während aber Wollaston die größte Intensität des reflektierten Strahles bestimmte, wird bei Abbe der Eintritt der geringsten Intensität des durchgehenden Strahles beobachtet. Diese läßt sich viel leichter feststellen als die maximale Helligkeit. Bei der größeren Verbreitung, die das vorzügliche Instrument auch auf anderen Gebieten (Nahrungsmitteluntersuchung, Chemie, Physik usw.) gefunden hat, darf ich hier wohl auf eine nähere Beschreibung verzichten. Es genüge darauf hinzuweisen, daß an ihm der Brechungsindex direkt ohne weitere Rechnung und zwar mit einer Genauigkeit bis zu zwei Einheiten in der vierten Dezimale abgelesen werden kann. Schwierigkeiten der Untersuchung sind für optisch homogene flüssige und feste Körper nur in geringem Maße vorhanden. Anders liegt aber die Sache bei der Linse. Es kommt hier zunächst erschwerend in Betracht, daß sie aus ineinander mehr oder weniger übergehenden Schichten verschiedener Brechkraft besteht. Hierdurch wird die durch das Ocular zu beobachtende, sonst ganz scharfe Grenzlinie der Totalreflexion (durch die das Gesichtsfeld in eine belichtete und eine lichtlose Hälfte geteilt wird) unscharf; um so mehr, je inhomogener das in den Apparat gebrachte Linsenstückchen ist. Es müssen also fast immer mehrere Ablesungen an demselben Objekte gemacht werden, damit sich die Beobachtungsfehler, die sonst immerhin die dritte und selbst die zweite Dezimale beeinflussen können, gegenseitig möglichst aufheben. Ferner muß rasch gearbeitet werden, da die Linsensubstanz zwischen den Prismen des Apparates durch Wasserverdunstung sehr bald höher brechend wird. Die größte Schwierigkeit liegt aber in der Gewinnung des Materials. Die oberflächlich schlüpfrige, in ihrer Form durch die geringste äußere Einwirkung veränderliche, nach Eröffnung der Kapsel bezw. Halbierung ungemein klebrige Linse ist zur Entnahme einzelner Teile von einer bestimmten Stelle der Oberfläche oder des Innern das denkbar widerspenstigste Objekt. Es gehört also erst einige Übung dazu, zuverlässig damit zu arbeiten. Die ersten mit dem Refractometer angestellten Untersuchungen der brechenden Medien des Auges stammen von Aubert (42) (zusammen mit Matthiessen). Es wurden die beiden Augen eines 50 jährigen Mannes und

eines zwei Tage alten Kindes untersucht. Die für die Linse gefundenen Werte sind:

Linse	Mann 50 Jahre I	Mann 50 Jahre II	Kind 2 Tage
Äußere Schicht . .	1,3953	1,3967	1,3967
Mittlere „ . .	1,4087	1,4067	
Kern	1,4119	1,4093	

Es folgen nun in den Jahren 1876—91 eine Reihe teilweise glänzender Arbeiten zur Dioptrik der Kristallinse, in denen Matthiessen dieses Gebiet teils durch refractometrische Messungen und noch mehr durch mathematische Ableitungen in hohem Maße ausbaute. Er untersuchte Augen vom Menschen und sehr vielen Tieren (Säugern, Vögeln und Fischen). Es erscheint untunlich, hier alle seine Arbeiten zu besprechen. Ich beschränke mich vielmehr auf Mitteilung seiner Hauptergebnisse. Er fand u. a. folgende Indexwerte:

Mensch

(außer den mit Aubert gef. Z.)
Mittelwerte von 13 Linsen

Äußerste Rinde	1,3880
Mittlere Schicht	1,4060
Kern	1,4107
(Totalindex	1,4367)

Affe

Kern	1,4037
Totalindex	1,4245

Hund (mittelgr.)

Rinde	1,3750
Kern	1,4482
(Totalindex	1,5247)

Pferd

6 Jahre:	Äußere Rinde . .	1,3870
	Kernzentrum . . .	1,4341
	Drch. Rechng. . .	1,4367
	Totalindex	1,4852
10 Jahre:	Kernzentrum . . .	1,4458
	Drch. Rechng. . .	1,4458
	(Totalindex . . .	1,5085)

Ochs

(Mittelwerte f. mehr. Aug.)

Vordere äußere Rinde . . .	1,3832
„ gallert. „ . . .	1,3970
„ äußere Kernschicht	1,4418
„ mittlere „	1,4629
Innerster Kern	1,4714
Drch. Rechng.	1,4733
Hintere äußere Rinde . . .	1,3850
(Totalindex	1,5610)

Schaf

Kernzentrum	1,4595
Drch. Rechng	1,4688
(Totalindex	1,5387)

1jähr. Schwein

Kernzentrum	1,4293
Drch. Rechng.	1,4327
(Totalindex	1,4768)

Turmfalke

Kern	1,4030

Matthiessen kam für die Corticalsubstanz zu dem konstanten Wert von 1,3830 bei Vierfüßlern und Fischen. Der Kernindex zeigte sich ziemlich variabel; bei dem älteren von 2 Pferden war er höher als bei dem jüngeren. Bezüglich der Indexverhältnisse der Linsenoberfläche äußerte sich Matthiessen (58): „Eine größere Anzahl von Messungen hat erwiesen, daß die optische Dichtigkeit in der ganzen Ausdehnung der äußersten unendlich dünnen Corticalschicht konstant ist.“ Matthiessens Untersuchungen gipfeln in folgendem Hauptsatze, den er ausführlich mathematisch entwickelte: „Wenn man in der Krystalllinse des menschlichen Auges, eines Landsäugetier- oder Fischauges von dem Kernzentrum, dem Punkte des Maximalindex oder des Zentrums der Schichtung sich einen beliebigen dünnen, geradlinigen Kanal nach ihrer Oberfläche gezogen denkt, so läßt sich die Indexzunahme in demselben graphisch durch einen halben Parabelscheitel darstellen.“*) Mittels einer anderen Formel kann auch der Totalindex der Linse berechnet werden.**) Kennt man den Index der äußeren Rinde und den des Kernzentrums, so findet man den Totalindex ziemlich genau durch Addition der Differenz beider zum Kernindex. Ist ersterer z. B. 1,39, letzterer 1,41, ihre Differenz also 0,02, so ist der Totalindex 1,43. Matthiessen fand auch (1885), daß für getrocknete und hernach in Wasser aufgequellte Gelatinekugeln und -cylinder das Parabelgesetz ebenso wie für die tierische Linse gilt. Sein Schüler Schwarz (60) wies dasselbe für Leimzylinder nach, Exner (62) für die zylindrischen Gebilde an der Cornea der Facettenaugen, welche wie die Linse einen geschichteten Bau haben. Diese Lehre von der paraboloiden Gestalt der Indizialkurve ist neuerdings in ihrer allgemeinen Geltung erschüttert worden. Bezüglich der Altersveränderungen der Indices ergeben sich aus den Matthiessen'schen Untersuchungen im allgemeinen keine besonderen Gesetze. Beim Menschen

*) Die Formel der Parabel lautet: $n = n_1 \left(1 + \zeta \frac{b^2 - y^2}{b^2}\right)$; n = äußerer Rindenindex, b = Entfernung der Oberfläche vom Kern, y = Entfernung einer anderen Schicht vom Kern auf der Achse, ζ = Constante = 0,0186 = Differenz des Kernindex und Rindenindex, divid. durch den Rindenindex $\left(\frac{nm - n_1}{n_1}\right)$.

**) Dieselbe lautet, wenn man den Abstand der vordersten bezw. hintersten Linsenschicht vom Kernzentrum (b_1 und b_2), den äußeren Rindenindex n_1 und die Linsenradien (r_1 und r_2) kennt: $n = n_1 \left(1 + 2\,\zeta + 4/3\,\zeta^2 \frac{b_1 + b_2}{r_1 + r_2}\right)$.

schwanken seine Zahlen für Rinde und Kern ohne erkennbare Regel. Bei einem 10 jährigen Pferde war der Kernindex, wie schon erwähnt, höher als bei einem 6 jährigen.

Peschel (47) maß (1879) u. a. den Brennpunktsabstand von in Kochsalzlösung gebrachten Linsen mittels des Mikroskops, woraus er die Totalindices berechnete; er erhielt hierfür folgende Zahlen:

erwachsenes Rind	Kalb	Schwein
1,5413	1,5415	1,5343
1,5364	1,5367	1,5302
1,5272	1,5322	1,5423
1,5372	1,5382	1,5004

Weiteres über das Alter der Tiere ist leider nicht angegeben, die Werte für Kalb und erwachsenes Rind sind ziemlich gleich. Während diese alle etwas unter denen von Matthiessen bleiben, sind die für das Schwein wesentlich höher als die der anderen Beobachter. Im gleichen Jahre erschienen Arbeiten von Valentin (48, 49), die zahlreiche refraktometrische Bestimmungen von Tiergeweben brachten. Auch die Augenmedien waren bei vielen Tieren untersucht, u. a. von Hühnerembryonen, vom Kaninchen, von der Ziege, vom Affen und Menschen. Einige der Indicialwerte seien hier angeführt.

Mensch, 11 wöch. Embryo .	1,3570	zerdrückte Linse im ganzen.
4 monatl. Föt. . .	1,3809	
7 „ „ . .	1,3917	äußere und mittlere Schicht.
	1,4029	mittlere und innerste Schicht.
Affe (Babuin)	1,4053	im ganzen zerdrückt.
(Kallitriche)	1,4169	Kern.
Hund	1,4345	äußere Schicht.
	1,4438	Kern.
Ziege; 14 Tage alt	1,4294	äußere und mittlere Schicht.
	1,4317	Kernschichten.
Kaninchen, 2 Tage	1,3989	im Ganzen.
groß	1,4359	äußere Schichten.
	1,4484	innere Schichten.
Huhn	1,4050	Kern.

Die Untersuchung ganzer zerdrückter Linsen gestattet nur die Feststellung des mittleren Index der Linsensubstanz und auch dies nur unter der Voraussetzung, daß sie genügend gut in einem Mörser gemischt ist; wie weit das bei Valentin der Fall war, ist mir nicht

bekannt. Es scheint nach seinen Zahlen jedenfalls bei jüngeren menschlichen Föten die Linse noch niedrigere Indices zu besitzen, als später. Nebenbei sei erwähnt, daß auch bei jungen Hühnerembryonen die Indices niedriger waren, als bei reifen. Bei einem ausgewachsenen Kaninchen fand Valentin für alle Schichten höhere Werte als bei einem nur zweitägigen. Nagel (51) äußerte sich in der 1. Auflage des Graefe-Saemisch'schen Handbuches über das Verhalten der Teilindices lediglich folgendermaßen: „Es scheint, daß nicht bloß bei cataractöser Trübung, sondern auch in der normalen Entwicklung der Linse in verschiedenen Lebensaltern ein Wechsel ihres Brechungsindex der einzelnen Schichten und damit ein Wechsel im Totalbrechungsindex der Linse und in der Refraktion des Auges vorkommt." Berlin (52) untersuchte 1882 ein 6jähriges Pferdeauge und berechnete den Totalindex der Linse zu 1,4887, wobei er folgende Werte zugrunde legte, die auf sein Ersuchen Becker (53) mit dem Abbe'schen Refraktometer bestimmt hatte: Vord. Pol 1,3846, Kernzentrum 1,4341, hint. Pol 1,3885. Mönnich (55, 65) bestimmte bereits 1883 die Konstanten mehrerer Rindsaugen und stellte sich 1887 in seiner Habilitationsschrift die Aufgabe, das Parabelgesetz durch weitere refraktometrische Untersuchungen namentlich für die Linsenachse (Matthiessen hatte bis dahin längs des Durchmessers untersucht) zu bestätigen. Er benutzte hierzu 4 Rindsaugen, deren Linsen er gefrieren ließ und dann halbierte, sodaß die Teile ihre gegenseitige Lage behielten. Angeblich sollen sich die Brechungsindices nach dem Wiederauftauen nicht verändert zeigen. Es wurden nun längs der Achse aus 5 Schichten vorn und hinten, in gleichem Abstande voneinander, kleine Stückchen Linsensubstanz entnommen und mit dem Refraktometer bei ca. 7° Cels. untersucht. Die Ergebnisse entsprachen den Erwartungen, Matthiessen selbst nennt Mönnichs Arbeit besonders wichtig. Nachstehend einige Werte des letzteren:

Linse	I	II	III	IV
Vordere äußere Schicht . .	1,3860	1,3862	1,3873	1,3881
Innerster Kern	1,4655	1,4670	1,4665	1,4673
Hintere äußere Schicht . . .	1,3855	1,3875	1,3865	1,3873

Das Alter der Tiere gibt Matthiessen nicht an. Neue Bestätigungen erfuhr das Gesetz Matthiessens durch Klingberg (68—70, 75) (1888—1889), der außer Krümmungsmessungen der Augenmedien auch viele refraktometrische Bestimmungen ausführte. Er untersuchte

verschiedene Haustier- und Wildarten; aus 23 Augen verschiedener Wirbeltiere bekam er für die Corticalschicht den Mittelwert 1,3812. Bezüglich des Alters der Tiere ist in Klingbergs Arbeiten nichts bemerkt, nur von einer Katze sind die Werte für ein junges und ein ausgewachsenes Tier angegeben, nämlich:

	Junge K.	Ausgewachsene K.
Rinde	1,3852	1,3868
Innerster Kern . .	1,4389	1,4589
Totalindex	1,4944	1,5539

Folgerungen zog Klingberg aus diesem Befunde nicht. Mit Berücksichtigung von Woinows Untersuchungen über das Verhalten der Linse in verschiedenen Lebensaltern führte nun Bertin-Sans (73) (1891) neue Bestimmungen an Rinds- und Schafslinsen aus. Er sagte sich, daß die von Donders und Becker angenommene langsame Zunahme des Rindenindex bis zum Alter mit der doch bestehenden Konstanz der Refraktion bis zum 50. Jahre nicht vereinbar sei, man müsse denn eine Krümmungszunahme der Oberfläche bis zu diesem Zeitpunkt als Kompensation annehmen. Zur Untersuchung legte Bertin-Sans die frische Linse auf ein Uhrglas und bedeckte sie in den Pausen mit einer kleinen Glocke. Er entnahm die für das Refraktometer bestimmten Stückchen aus der Äquatorgegend der Linse und zwar wegen der daselbst von ihm angenommenen größeren Dicke der Schichten gleichen Brechungsvermögens. Untersucht wurden je 3 Augen folgender Tiere: 2monatliche Kälber, 6jährige Kühe, 50tägige Lämmer, 3jährige Schafe. Die erhaltenen Indices waren:

Tier	Oberfläche	Mittl. Sch.	Kern
Kalb	1,372	1,422	1,445
„	1,373	1,419	1,4445
„	1,375	1,421	1,446
Kuh	1,3755	1,430	1,462
„	1,3755	1,434	1,461
„	1,377	1,426	1,461
Lamm	1,372	1,410	1,435
„	1,372	1,407	1,431
„	1,3725	1,409	1,431
Hammel	1,3745	1,426	1,450
„	1,375	1,424	1,452
„	1,376	1,423	1,456

Es ergab sich also, daß der Kernindex im Alter beträchtlich, der Rindenindex dagegen nur wenig höher war. Die Differenz beider wurde also größer, ebenso daher der Totalindex. Auf den Menschen übertragen müsse folglich, so schloß Bertin-Sans, sofern Donders' Angaben über das Auftreten der Altershypermetropie richtig seien, von anderer Seite ein Ausgleich kommen. Man könne an Erhöhung des Kammerwasser- und Glaskörperindex denken, obgleich diese unwahrscheinlich sei, an Verlagerung der Linse oder Vergrößerung ihrer Radien. Auf jeden Fall aber sei eine Beobachtung von Prof. Imbert beachtenswert, der bei einigen Personen, die in der Jugend Emmetropen waren, leichte Myopie in den Jahren auftreten sah, wo sie nach Donders hätten Hypermetropen sein müssen. Dieser Hinweis Bertin-Sans' auf die von Imbert beobachtete Alters myopie läßt an ähnliche Beobachtungen denken, die als „Linse mit doppeltem Brennpunkt" und unter anderen Bezeichnungen in der Literatur sich vorfinden. Ich habe hierauf a. a. O. (104) bereits hingewiesen und komme unten nochmals darauf zurück. Kunst (82) erhielt 1895 für die Indices einiger Linsen nachstehende mit dem Refraktometer gewonnene Werte.

	Äußere Schicht	Mittl. Schicht	Kern
Kuh	1,3826	—	1,4323
„	1,3927	1,4228	1,4468
Schwein	—	—	1,421
„	—	—	1,4287
Mensch, 63 Jahre, gemischte Linsensubstanz:			R. 1,4086
			L. 1,4087

Es ergeben sich daraus keine neuen Gesichtspunkte. Axenfeld (84) kam 1897 infolge des Mißverhältnisses zwischen Achsenkürze des neugeborenen Auges und der sich vorfindenden geringen, durchschnittlich nur 2,3 Dioptr. betragenden Hypermetropie zu dem Schluß, daß die Medien bei Neugeborenen höhere Werte als beim Erwachsenen haben müßten. Besonders hoch sei der Brechwert der Linse, was sich schon durch ihre kugelige Form ausdrücke; dem Brechungsindex jedoch komme jedenfalls kein Anteil zu. Berlin (85) wandte im gleichen Jahre bei einer menschlichen Linse eine neue Methode zur Bestimmung des Totalindex an. Er bestimmte mit weißem und dann mit rotem Licht den Ort des hinteren Linsenbildchens und berechnete die Konstanten mit Hilfe der Differenz der erhaltenen Werte. Er fand einen Totalindex von 1,4451, der nahe den älteren

Helmholtz'schen Zahlen liegt. Über das Alter der Linse und die vom Tode bis zu der Untersuchung verflossene Zeit ist nichts angegeben. 1897 machte auch W. Meyer (86) refraktometrische Indexbestimmungen an Schafs- und Hundelinsen aus verschiedenen Lebensaltern. Nachstehend die von ihm gefundenen Werte, soweit sie hier in Betracht kommen:

Schaf.

Alter, Jahre:	1½	2	3	4	5	Mittel
Vordere Rinde . .	1,3845	1,3868	1,3864	1,3840	1,3848	1,3852
Kernzentrum . . .	1,4573	1 4585	1,4569	1,4580	1,4579	1,4579
Hintere Rinde . .	1,3851	1,3852	1,3858	1,3845	1,3863	1,3857

Hund.

Alter, Jahre:	Dogge ½	Spitz ¾	Dogge 2	Dogge 4	Mittel
Vordere Rinde . . .	—	1,3845	1,3838	1,3839	1.3841
Kernzentrum	1,4457	1,4471	1,4492	1,4487	1,4477
Hintere Rinde . . .	1,3823	1,3853	1,3852	—	1,3843

Die Indices von Rinde und Kern zeigten sich also in verschiedenem Alter bei beiden Tierarten im wesentlichen unverändert. Beim Hunde scheint mir übrigens der Vergleich in ihrer Größe stark verschiedener Rassen eine gewisse Vorsicht zu erheischen. Es sind noch die von Tscherning (87) (1897) und Stadtfeldt (90) (1898) angegebenen Totalindices der menschlichen Linse zu erwähnen; ersterer gab zuletzt den niedrigen Wert 1,41 an, letzterer auf Grund von Brennweitebestimmungen die Zahl 1,4352.

Heine (89) hat nun 1898 ausgedehntere refraktometrische Untersuchungen an Menschenaugen vorgenommen. Außer normalen untersuchte er auch cataractöse Linsen und solche myopischer Augen. Für normale Linsen zog Heine aus seinen Befunden folgende Schlüsse: 1. Der Totalindex der akkommodierten Linse ist höher als der der nicht akkommodierten (1,44 bezw. 1,43). 2. In der akkommodierten Linse ist am vorderen Pol ein Eiweißkörper mit niedrigerem Index als in

der Linse solange die Zonula noch gespannt ist; dies bedingt die Erhöhung des Totalindex. 3. In den peripupillaren Teilen der nicht akkommodierten Linse findet man einen Eiweißkörper von demselben Index wie der am vorderen Pol der akkommodierten Linse (1,38—1,385). 4. Der Index des hinteren Pols ist dem des vorderen der nicht akkommodierten Linse annähernd gleich. 5. Der Brechungsindex der peripher sten Schicht ist nicht in allen Teilen gleich. 6. Je älter der Mensch ist, um so höher ist der Index seines vorderen Linsenpols. 7. Der Kernindex steigt nur sehr wenig, Werte über 1,415 sind wohl schon pathologisch. Aus 6 und 7, d. h. durch das Sinken des Totalindex, erklärt Heine, wie Donders, die Altershypermetropie. Bezüglich des Verhaltens von Rinden- und Kernindex mit steigendem Alter kam Heine also zu entgegengesetzten Resultaten wie Bertin-Sans. Es wird über sie noch zu sprechen sein. Treutler (94) berechnete 1902 den Totalindex der menschlichen Linse aus der Veränderung der Refraktion nach Entfernung der Linse zu 1,4215. In die Frage nach dem gegenseitigen Verhalten von Rinden- und Kernindex kam 1905 durch C. Heß (100) ein neues Moment durch den Nachweis der beim Menschen von der Mitte der 20iger Jahre an regelmäßig auftretenden, bisher nur in einzelnen pathologischen Fällen (Demicheri (81), v. Szily (97) beobachteten Kernreflexbilder der Linse, die mit Sicherheit das Auftreten einer Stufe in der Indicialkurve der alternden Linse dartaten. Auch an Tieren konnte Heß diese Reflexe innerer Linsenschichten nachweisen und zwar nicht nur einen vorderen und hinteren, sondern mehrfache (Kaninchen, 9jähriger Hund). Das Rind zeigte sie schon in frühester Jugend, freilich wesentlich schwächer als im Alter. Bei Fischen fand sich ein kegelförmig ausgezogener vorderer und hinterer Kernreflex. Auch Th. Schmidt (10) hatte beim Pferde bereits ähnliche Beobachtungen gemacht. In der Tat sind diese Kernbilder mit geeigneter Lampe leicht nachzuweisen; ich (105) war in der Lage, sie beim Menschen in einzelnen Fällen sogar bis zur Mitte des zweiten Lebensjahrzehnts zurück zu verfolgen. Mit zunehmendem Alter wurden sie immer lichtstärker. Bezüglich der Details darf ich auf die erwähnten Publikationen verweisen. Heß kommt zur Verwerfung der Donders'schen Anschauung von der im Alter zunehmenden Homogenität der Schichten, wie bereits Bertin-Sans durch seine Indexbestimmungen an Tieren.

Halben (103) hat neuestens eine Verbesserung des Refraktometers herbeigeführt und war damit, wenn auch zunächst nur an einer beschränkten Anzahl von Linsen, imstande, den Index an jeder beliebigen Stelle eines Querschnittes abzulesen. Er fand so viel höhere Zahlen für das Kernzentrum und niedrigere für die Peripherie als alle anderen neueren Beobachter. Die von Heß vorher bereits nachgewiesene Stufe in der Indicialkurve war mit dem Apparat gleichfalls festzustellen. Im übrigen genügte nach Halbens eigener Angabe das von ihm untersuchte Material noch nicht zu ausführlichen Veröffentlichungen.

Überblickt man das bisher auf dem Gebiete der Bestimmung der Brechungsindices der Linse Geleistete, das im Vorhergehenden in seinen Hauptzügen in chronologischer Folge referiert wurde, so zeigt sich eine verhältnismäßig geringe Übereinstimmung der Befunde. Ein Vergleich des Totalindex der Linse des bekannten Listing-schen schematischen Auges $\left(1{,}454 = \frac{112}{77}\right)$ mit dem neuerer und auch älterer Autoren ergibt so große Unterschiede, daß man in der Tat geneigt wird, den Wert aller mit Hilfe dieser Zahlen ausgeführten Rechnungen in Frage zu stellen. Noch heute, 50 Jahre nach Helmholtz's physiologischer Optik, muß eingestanden werden, daß wir die Konstanten der menschlichen Linse nur sehr unvollkommen kennen. In nachstehender Übersicht sind zum besseren Vergleiche die wichtigsten bisherigen Zahlen (für äußerste und innerste Schicht und den Totalindex) nach den von mir untersuchten Tierspezies geordnet.

Autor	Alter der Linse	Index		
		Äußere Schicht	Kern-zentrum	Total
Mensch.				
Wintringham	—	—	—	1,4026
Porterfield	—	—	—	1,3645
Young	—	—	1,4144	1,4359
Chossat	—	1,338 (388?)	1,42	
Brewster	—	1,3767	1,399	1,3839
Listing	—	—	—	1,454

Autor	Alter der Linse	Index: Äußere Schicht	Index: Kernzentrum	Index: Total
		Mensch.		
Engel	3/4 Jahre	—	—	1.2811
	5 „	—	—	1,2734
	18 „	—	—	1,4044
	26 „	—	—	1,5471
	28 „	—	—	1,3145
	34 „	—	—	1,3519
	36 „	—	—	1,4881
	47 „	—	—	1,5139
	51 „	—	—	1,3073
	75 „	—	—	1,282
Krause	minim.	1,3431	1,4252	—
	maxim.	1,4743	1,4807	—
	im Mittel	1,4053	1,4541	—
Helmholtz	—	1,4189	—	1,4519
	—	—	—	1,4414
	—	—	—	1,4371 neu
Zehender	—	1,336 vorn	1,399	1,4098
	—	1,3394 hint.	—	—
Woinow	2—3 Jahre	1,3904	1,4281	1,4311
	„ „	—	—	1,4303
	16 „	1,3932	1,4315	1,4362
	47 „	1,4005	1,4387	1,4411
Aubert u. Matthiessen	2 Tage	1,3967	—	—
	50 Jahre	1,3953	1,4119	—
	—	1,3967	1,4093	—
Matthiessen	—	1,3902	1,4077	—
	—	—	1,4091	—
	—	—	1,4096	—
	26 Jahre	1,3867	1,4154	—
	40 „	—	1,4097	—
	—	—	1,411	—
	45 Jahre	—	1,4112	—
	—	—	1,4094	—
	45 Jahre	1,393	1,4101	—
	—	1,3811	1,4107	—
	50 Jahre	1,3943	1,4119	—
	—	1,3854	—	—
	60 Jahre	—	1,4106	—
	—	1,3857	1,4122	—
	im Mittel	1,388	1,4107	1,4367

Autor	Alter der Linse	Index: Äußere Schicht	Index: Kernzentrum	Index: Total
Mensch.				
Valentin	11 wöch. Embryo	1,357	zerdrückte Linse	—
	4mon. Foetus	1,3809	—	—
	7 „ „	1,3917	1,4029	—
Kunst	3 Jahre	1,4086	gemischte	—
	—	1,4087	Substanz.	—
Berlin	—	—	—	1,4451
Heine	jung, accom.	1,38—1,385	1,4—1,41	1,435—1,44
	„ nicht ac.	1,39—1,395	1,4—1,41	1,42—1,43
	alt	1,395—1,405	1,41	1,415—1,425
Tscherning	—	—	—	1,41
Stadtfeldt	—	—	—	1,4352
Trentler	—	—	—	1,4215
Halben	—	1,36	1,4452	—
Affe.				
Matthiessen	—	—	1,4037	1,4245
Valentin	(Babuin)	—	1,4053	—
	(Kallitriche)	—	1,4169	—
Hund.				
Matthiessen	(mittelgr.)	1,3750	1,4482	1,5247
Meyer	(Dogge, ½ J.)	1,3823	1,4457	—
	(„ 4 „)	1,3839	1,4487	—
Pferd.				
Matthiessen	6 Jahre	1,387	1,4341	1,4852
	10 „	—	1,4458	1,5085
Klingberg	—	1,3917	1,4512	1,504
Becker	—	1,3846 vorn.	1,4341	1,4887
	—	1,3885 hint.	—	—

Autor	Alter der Linse	Index: Äußere Schicht	Index: Kernzentrum	Index: Total
		Rind.		
Hauksbee	—	—	—	1,464
Maskelyne	—	—	—	1,4635
Wollaston	—	1,38	1,447	1,43
Chossat	—	1,375	1,44	—
Senff	—	1,374	1,453	1,539
Krause	Kalb	1,3983	1,452	—
Matthiessen	—	1,3832 vorn.	1,4714	1,5553
	—	1,385 hint.	—	—
Peschel	Kalb	—	—	1,5322
	—	—	—	1,5415
	—	—	—	1,5367
	—	—	—	1,5382
	erw. Rind	—	—	1,5372
	—	—	—	1,5413
	—	—	—	1,5364
	—	—	—	1.5272
Moennich	—	1,386 vorn.	1,4655	1,5553
	—	1,3855 hint.	—	—
	—	1,3862 vorn.	1,467	—
	—	1,3875 hint	—	—
	—	1,3873 vorn.	1,4665	—
	—	1,3865 hint.	—	—
	—	1,3881 vorn.	1,4673	—
	—	1,3873 hint.	—	—
Bertin-Sans	2 Mon.	1,372	1,445	—
	—	1,373	1,4445	—
	—	1,375	1,446	—
	6 Jahre	1,3755	1,462	—
	—	1,3765	1,461	—
	—	1,377	1,461	—
Kunst	—	1,3826	1,4323	—
	—	1,3927	1,4468	—
		Ziege.		
Valentin	—	1,4294 u. mittl. Sch.	1,4317	—

Autor	Alter der Linse	Index: Äußere Schicht	Index: Kernzentrum	Index: Total
Schaf.				
Young	—	1,386	—	—
Matthiessen	—	—	1,4595	1,5387
Klingberg	—	1,378	1,4575	1,5358
Bertin-Sans	50 Tage	1,372	1,435	—
	—	1,372	1,431	—
	—	1,3725	1,431	—
	3 Jahre	1,3745	1,45	—
	—	1,375	1,452	—
	—	1,376	1,456	—
W. Meyer	1½ Jahre	1,3845 vorn.	1,4573	—
	—	1,3851 hint.	—	—
	2 Jahre	1,3868 vorn.	1,4585	—
	—	1,3852 hint.	—	—
	3 Jahre	1,3864 vorn.	1,4569	—
	—	1,3858 hint.	—	—
	4 Jahre	1,384 vorn.	1,458	—
	—	1,3845 hint.	—	—
	5 Jahre	1,3848 vorn.	1,4579	—
	—	1,3861 hint.	—	—
	im Mittel	1,3852 vorn.	1,4579	—
	—	1,3857 hint.	—	—
Schwein.				
Chossat	—	1,386	1,424	—
Matthiessen	1 Jahr	—	1,4293	1,4768
Peschel	—	—	—	1,5423
	—	—	—	1,5343
	—	—	—	1,5302
	—	—	—	1,5004
Klingberg	—	—	1,44	1,4858
Kunst	—	—	1,421	—
	—	—	1,4287	—
Huhn.				
Valentin	—	—	1,4050	—
Turmfalke.				
Matthiessen	—	—	1,4030	—

Die zur Ermittelung der Brechungsindices bisher gewählten Methoden waren im wesentlichen folgende:

1. Bestimmung der Ablenkung eines Lichtstrahles durch die in ein Hohlprisma gebrachte Linsensubstanz (Hauksbee, Brewster).

2. Verwendung der Linsensubstanz als Objektiv oder Objektivteil, Bestimmung seines Brennpunktsabstandes (Chossat, Senff, Engel, Peschel, Stadtfeldt) oder der Größe der von ihm entworfenen Bilder (Krause, Helmholtz, Woinow).

3. Bestimmung des Ortes des hinteren Linsenbildchens in verschiedenfarbigem Licht (Berlin).

4. Bestimmung des Grenzwinkels der Totalreflexion eines Lichtstrahles an der Begrenzungsfläche von Glas und Linsensubstanz; Beobachtung

a) der maximalen Helligkeit des reflektierten Strahles (Wollaston, Young),

b) der minimalen Helligkeit des durchgehenden Strahles (Abbe, Aubert, Matthiessen, Valentin, Becker, Moennich, Klingberg, Bertin-Sans, Kunst, W. Meyer, Heine, Halben).

Über die von H a l b e n benutzte neue Methode wird noch besonders zu sprechen sein. Die Zuverlässigkeit der übrigen Methoden gegenseitig abzuwägen, dürfte nicht leicht sein. Allen denen gegenüber, die ein Arbeiten mit einzelnen Stückchen der Linse in sich schließen, gilt, abgesehen von dem dem toten Materiale an und für sich eingangs bereits gemachten Einwande, in erster Linie, daß, vermöge der Inhomogenität der Linsenpröbchen, alle Ablesungen etwas mehr oder weniger Ungenaues an sich haben müssen. Immerhin verdient wohl ceteris paribus diejenige Methode den Vorzug, welche für alle Beobachter möglichst gleiche Untersuchungsbedingungen bietet, da es ja sehr darauf ankommt, untereinander vergleichbare Resultate zu erhalten. Die Vorzüge des von den meisten neueren Untersuchern benutzten Refractometers wurden schon weiter oben angedeutet. Vor allem ist die relative Einfachheit seiner Handhabung zu betonen, ferner der Umstand, daß in der Herstellung (bei Karl Zeiß in Jena) die denkbar größte Einheitlichkeit verbürgt ist. Eine völlige Konstanz scheint jedoch nicht erzielbar zu sein; immerhin dürften die einzelnen Instrumente viel geringere Zahlendifferenzen verursachen als die bei Linsen-

untersuchungen zu berücksichtigenden, vom Apparate unabhängigen Fehlerquellen.*)

Eine derselben ist die Temperatur, bei der beobachtet wird. Die Angaben der Autoren hierüber sind nicht vollständig, die meisten beobachteten wohl bei mittlerer Zimmerwärme; Moennich gibt + 7° C an, wozu ihn wohl der Umstand zwang, daß er seine Linsen vor Entnahme der Proben gefrieren ließ. Da der Brechungsindex sich mit der Temperatur ändert und diese Änderung für die Linse, namentlich ihre verschiedenen Schichten, nicht genügend bekannt ist, so erhellt, daß die Messungen in dem Grade unzuverlässiger werden, in dem sich die Temperatur des Laboratoriums von der des Körpers unterscheidet. Immerhin hat die Anwendung heizbarer Prismen beim Refractometer gerade für die Linse wieder deshalb ihre Schattenseiten, weil durch sie die Verdunstung und hierdurch sehr bald der Brechungsindex erhöht wird.

Die größte Fehlerquelle bei allen Untersuchungen einzelner Teile der isolierten Linse ist die Art und Weise, in der die kleinen Proben gewonnen werden. Leider ist sie nicht von allen Autoren mit wünschenswerter Genauigkeit angegeben worden. Eine eben solche Rolle wie die größere oder geringere Schnelligkeit, mit der gearbeitet wird, spielt natürlich bei der der Verdunstung ausgesetzten Linsensubstanz die Fähigkeit des Untersuchers, rasch und z u v e r l ä s s i g zu arbeiten. Vor allem handelt es sich darum, die Linse dem Bulbus zu entnehmen, ohne sie zu verletzen oder zu drücken; dann muß sie während den zwischen der Entnahme der Proben gelegenen Zeitintervallen zweckmäßig, d. h. möglichst vor Verdunstung geschützt, aufbewahrt werden. Selbstverständlich muß auch sogleich nach der Isolierung der Linse zur Refractometrie geschritten werden. Manipulationen, wie sie E n g e l mit seinen Linsen vornahm, machen natürlich den Wert der Untersuchung völlig illusorisch; seine Zahlen sind denn auch weder

---

*) Man vergleiche in dieser Beziehung einige für d e s t i l l i e r t e s W a s s e r mit dem Apparat von verschiedenen Autoren gewonnenen Werte:

1876 Aubert	1,331	1888 Klingberg . .	1,3334
1877 Matthiessen .	1,3326	1891 Matthiessen .	1,333
1879 Valentin . . .	1,3343	1895 Kunst	1,3331
1883 Moennich. . .	1,334	1903 Halben	1,333

Die Temperaturen schwankten zwischen 12,5° und 17°.
Ich selbst erhielt bei + 19° C. den Index 1,33181 (Mittel aus 10 Ablesungen).

untereinander noch mit denen anderer irgend wie in genügender Übereinstimmung.

Bei der Entnahme der einzelnen zur Bestimmung ihres Brechungsvermögens im Refractometer gewählten Proben ist folgendes zu beachten: Das einzelne Stückchen muß möglichst klein sein, da das Maß seiner optischen Homogenität hierzu in direkter Beziehung steht, ferner muß es auch wirklich von der gewünschten Stelle stammen, was häufig schwer erreichbar ist.

Es ist wohl keine Frage, daß die einzelnen Beobachter in den erwähnten Punkten mehr oder weniger voneinander abwichen; so erklären sich, außer durch die nicht auszuschaltenden Mängel des Materials an sich und des Apparates, zum Teil ihre verschiedenen Befunde.

Aber selbst unter der Voraussetzung völlig gleichartiger Untersucher und Arbeitsmethoden wären gleiche Brechwerte für gleiche Stellen der Linse derselben Tierspecies oder für ihren Totalindex ja nur dann zu erwarten, wenn zwischen ihnen nicht individuelle Unterschiede bestünden. Es soll hier die Möglichkeit pathologischer Brechungsveränderungen ohne Trübung der Linse noch ganz unerörtert bleiben, aber wie überall in der Natur, ist doch auch bei der Linse vorauszusetzen, daß keine der anderen völlig gleicht. Diese Unterschiede werden sich in besonderem Grade bei den verschiedenen Lebensaltern geltend machen. Ist doch von der Linse schon lange genugsam bekannt, daß sie im Alter der sogenannten Sclerosierung verfällt. Obwohl man sich über deren makroskopische, mikroskopische und teilweise auch chemische Merkmale schon längere Zeit ziemlich im klaren ist, wurde ihr vonseiten derjenigen, die sich mit der Messung der brechenden Kraft der Linsensubstanz beschäftigten, nur in beschränktem Maße Beachtung geschenkt. Helmholtz erwähnt in seiner „physiologischen Optik“*) nur mit wenigen Worten, offenbar in Anlehnung an Donders, ihres möglichen oder wahrscheinlichen Einflusses auf die Brechungsindices der Linse, Matthiessen trat der Frage der optischen Altersveränderungen in der ganzen Reihe seiner Arbeiten nur gelegentlich nahe. Besondere Aufmerksamkeit wurde ihnen, von den wohl zu übergehenden Untersuchungen Engels abgesehen, erst in neuerer Zeit gewidmet. Die erzielten

*) II. Aufl. S. 122 unten.

Ergebnisse stehen jedoch ebenfalls nicht im Einklang miteinander sowohl wie mit der mehrfach erwähnten Donders'schen, sich allgemeinerer Geltung erfreuenden Anschauung von der Altershypermetropie.

Der Wert des sog. Totalindex der Linse, dessen Wichtigkeit für die Dioptrik hier wohl nicht begründet zu werden braucht, ist abhängig von der Größe der Teilindices, sowie der Verteilung der Schichten verschiedener Brechkraft auf der Oberfläche und im Innern der Linse.

Bezüglich der Anordnung der Schichten kann nach den bisherigen Untersuchungen ja als feststehend angenommen werden, daß der Brechungsindex im Mittelpunkte der bereits makroskopisch erkennbaren Schichtung, d. h. im Zentrum des sog. Linsenkernes am höchsten ist; von da an nimmt er allseits nach der Oberfläche zu ab. Während nun Matthiessen diese Abnahme für kontinuierlich hielt und das Gesetz derselben in allen Fällen in einer einfachen Kurve ausdrücken zu können glaubte, kam Heß, wenigstens für ältere Menschen- und Tierlinsen, zur Annahme eines komplizierteren Verlaufes der Indicialkurve. Zu seiner Erklärung wurde von ihm namentlich eine Zunahme der Differenz zwischen Rinden- und Kernindex mit zunehmendem Alter herangezogen. Eine Erhöhung des Kernindex mit dem Alter war ja bereits von Woinow und Bertin-Sans gefunden worden, wobei der erstere eine gleich große Erhöhung des Rindenindex, somit ein Gleichbleiben der Differenz beim Menschen fand, während letzterer für die Rinde bei alten Tieren fast dieselben Werte erhielt wie bei jungen. Aus Matthiessens Zahlen für menschliche Linsen verschiedener Lebensalter läßt sich weder nach der einen noch der anderen Richtung ein Schluß ziehen, ebenso wenig aus denen von W. Meyer für Schaf und Hund. Dagegen schließt Heine aus seinen an menschlichem Material gewonnenen Indices, daß sich, ganz im Sinne der Donders-schen Anschauung, die Differenz zwischen Kern und Rinde mit den Jahren vermindere, was in der Zunahme des Rindenindex begründet sei, während der Kernindex nur sehr wenig ansteige. Eine Vergleichung der Tabellen Heines ergibt übrigens auch in jugendlichem Alter mehrfach ebenso hohe Werte für die oberflächlichste Schicht am Linsenpol wie bei älteren Linsen, während der Kernindex ziemlich gleich bleibt. Es mögen hier einige Zahlen im Auszuge folgen:

Alter der Linse	Index	
	vorderer Pol	Kernzentrum
10 Monate	1,4025	1,415
	1,394	1,4135
15 Jahre	1,392	1,408
	1,38	1,408
16 „	1,388	1,41
18 „	1,407	1,411
24 „	1,382	1,409
26 „	1,4	1,4125
		1,4115
37 „	1,369	1,4105
	1,395	1,411
56 „	1,401	1,408
57 „	1,38	
64 „	1,4	1,406
73 „	1,396	1,407
81 „	1,395	1,425
		1,403
83 „	1,402	1,403

Ebenso wenig wie in der Frage der Indicialkurve herrscht bezüglich der brechenden Kraft der oberflächlichsten Linsenschicht Übereinstimmung. Matthiessen und seine Schüler nahmen noch an, daß innerhalb der äußersten Schicht sowohl wie innerhalb jeder auf dem Linsendurchschnitt sichtbaren Lamelle völlig gleiches Brechungsvermögen bestehe. In der Tat sind auch die von Moennich an den Polen gemessenen Indices in großer Übereinstimmung mit denen von Matthiessen selbst am Äquator gewonnenen. Wesentlich niedrigere Werte als beide für das Rind und als W. Meyer für das Schaf erhielt aber Bertin-Sans für den Äquator der Rinds- und Schafslinse. Wollte man mit seinen Zahlen nach der Matthiessen'schen Regel den Totalindex berechnen, so würde man zu einem wesentlich höheren Werte kommen. Auch Heines Zahlen für den menschlichen Linsenäquator sind größtenteils niedriger als die Polwerte. Besonderes Gewicht legte Heine auf das verschiedene Brechungsvermögen der oberflächlichen Linsenschicht im accommodierten und nicht accommodierten Zustande, wie weiter oben schon ausgeführt wurde.

Die Aufgaben, denen sich ein an das Gebiet der Linsenindexmessung Herantretender gegenüber sieht, sind somit noch mannigfache und wichtige und dürften sich im wesentlichen aus dem Gesagten ergeben.

Von vornherein schien es mir angesichts der bisherigen sich teilweise widersprechenden Resultate wünschenswert, die Untersuchungen in größerem Maßstabe auszuführen, da teils die individuellen Unterschiede, teils die in den unvermeidbaren Mängeln der Methode begründeten Fehlerquellen im einzelnen Falle zu groß sind, um aus wenigen Zahlen zuverlässige Schlüsse ziehen zu können. Ferner machte ich mir zur Aufgabe, v e r g l e i c h e n d e Beobachtungen anzustellen und entweder für den Menschen und höhere Tiere gemeinsame Gesetze in der Verteilung der Linsenindices in verschiedenen Lebensaltern oder prinzipielle Unterschiede aufzufinden.

Zur Entscheidung der hier also noch vorliegenden Fragen untersuchte ich außer menschlichen Linsen die Linsen von Affen, Hunden, Pferden, Rindern, Ziegen, Schafen, Schweinen und Hühnern in folgender Hinsicht:

1. Wachstum des Brechungsindex von außen nach innen.

2. Verhalten der Brechkraft verschiedener Punkte der äußersten Schicht zueinander. Als solche faßte ich ins Auge: a) den vorderen Pol, b) eine in der Mitte zwischen vorderem Pol und Äquator gelegene Zone, „vordere Mittelzone“, c) den Äquator, d) die „hintere Mittelzone“, e) den hinteren Pol.

3. Verhalten des Kernindex mit zunehmendem Alter.

4. Größe der Differenz zwischen Kern- und Oberflächenindex in den verschiedenen Lebensaltern.

5. Verhältnis des vorderen Polindex der isolierten Linse zu dem der in situ, d. h. im Zusammenhange mit der Zonula befindlichen (= Nah- und Ferneinstellung).

U n t e r s u c h u n g s m e t h o d e.

Bei Untersuchungen von der Art der meinen stand zunächst die Sorge für genügendes Material im Vordergrund. So rasch verhältnismäßig die Untersuchung der einzelnen Linse beendet ist, so zeitraubend sind doch häufig die Bemühungen, sie zu erhalten. Bei Schlachttieren werden ja die Augen im allgemeinen gern abgegeben, aber es ist wichtig,

sie in genügender Zahl von verschiedenen Tieren des verschiedensten Alters und zudem in möglichst frischem Zustande zu erhalten, was Zuverlässigkeit der mit der Beschaffung betrauten Personen voraussetzt. Noch bedeutend größere Umstände machte die Gewinnung normaler menschlicher Bulbi; ich konnte verhältnismäßig nur wenige erhalten, mußte mich vielmehr bei der Mehrzahl menschlicher Augen mit der Gewinnung der Linse begnügen. Diese, allen früheren Beobachtern ebenfalls bekannten Schwierigkeiten, sind wohl mit ein Hauptgrund dafür, daß unsere Kenntnisse auf dem fraglichen Gebiete noch so lückenhaft sind.

Die Linsen wurden in einer kleinen feuchten Kammer (Glasnäpfchen oder -röhrchen) transportiert und selbstverständlich sogleich untersucht.

Die Örtlichkeiten, an denen ich arbeitete, waren das Laboratorium der Würzburger Universitäts-Augenklinik, dasjenige des Berliner Kgl. Pathologischen Institutes, die Sanitätsstation des Münchener Schlachthofes und mein eigener Arbeitsraum in München. Die Temperaturen der Räume schwankten zwischen 16° und 20° C.

Mit den Bulbi wurde folgendermaßen verfahren: Zunächst wurde mit Messer oder Lanze die Vorderkammer vorsichtig eröffnet zur Aufsaugung einiger Tropfen Kammerwassers, die dann sogleich im Refraktometer auf ihren Brechungsindex untersucht wurden. Dann stach ich mit einer spitzen Schere ca. einen Millimeter von der Hornhaut in die Sclera ein und circumcidierte die Hornhaut, wobei die Spitze der Schere der Linse möglichst abgewandt gehalten wurde, um Kapselverletzungen zu vermeiden. Es ließ sich nun die Hornhaut zusammen mit der an ihr haftenden Regenbogenhaut, Zonula und Linse entfernen. Mit Schere und Pinzette wurde vorsichtig die Linse isoliert, vorher aber noch der Index des Glaskörpers an einer kleinen Perle desselben refraktometrisch bestimmt.

Bei dem größeren Teile der menschlichen Augen mußte ein anderes Verfahren zur Gewinnung der Linse gewählt werden, da die Enucleation der betreffenden Bulbi aus äußeren Gründen nicht möglich war. Nach Eröffnung der Schädelhöhle und Entfernung des Gehirns wurde das knöcherne Dach der Augenhöhle mit Meißel und Hammer entfernt und der Bulbus frei präpariert. Während nun der Augapfel von der linken Hand mittels einer Pinzette am Sehnerven möglichst weit nach hinten in die Schädelhöhle hineingezogen wurde, eröffnete ihn die

rechte mit einer spitzen Schere in der Äquatorgegend genügend weit, um durch die Öffnung den Bulbusinhalt mit Zuhilfenahme von Pinzette und Daviel'schem Löffel entfernen zu können. Vielfach ging auf diese Weise die Linse im Zusammenhange mit Glaskörper und vorderem Teil der Netzhaut heraus, andernfalls mußte sie durch Durchschneiden der Zonulafasern vorsichtig isoliert werden. Es gelingt auf diese Weise fast immer, die Linse unverletzt in der Kapsel zu bekommen und der Leiche die Iris bezw. runde Pupille zu erhalten, sodaß nach Beendigung der Sektion der Eingriff sogar für den Kundigen kaum zu bemerken ist.

Die Linse wurde in einer Anzahl der Fälle rasch gemessen, gewogen und dann auf eine concave Fläche (kleines Näpfchen oder ausgehöhlten Kork) gelegt.

Als Instrument zur Bestimmung des Brechungsindex benutzte ich zuerst das Abbe'sche Refraktometer. Hiermit wurden sämtliche Oberflächenwerte und die Kernindices vieler Linsen, namentlich von Mensch, Pferd, Rind, Ziege, Schaf und Schwein erhalten. Zur Bestimmung des Wachstums der Indices von außen nach innen (Indicialkurve) wurde, nach vorhergegangenen und hier nur in kurzem Auszuge mitgeteilten Messungen mit dem Abbe'schen Refraktometer, das nach Halbens Anregung verbesserte Instrument (Differenzialrefraktometer) verwendet. Hiermit kamen gleichfalls zahlreiche Linsen und zwar vom Menschen, Affen, Hund, Pferd, Rind, Schaf, von der Ziege, vom Schwein und Huhn zur Untersuchung.

Ich schildere zunächst weiter das Vorgehen bei Benutzung des gewöhnlichen Abbe'schen Instrumentes und spare die Technik bei dem Differenzialrefraktometer bis zur Besprechung dieses Apparates selbst, die aus verschiedenen Gründen eine eingehendere sein muß, auf.

Bei der zweckmäßig gelagerten Linse wurde nun die Kapsel mit einer kleinen Lanze am Pole geritzt (bei schonendem Vorgehen tritt dabei keine Linsensubstanz heraus) und mit einem scharfen Löffelchen kleinsten Kalibers ein ungefähr Stecknadelkopf großes Stückchen aus der obersten Schicht der Linse entnommen und in den Abbe-schen Apparat gebracht, während in der Zwischenzeit die Linse mit einem umgestülpten Näpfchen bedeckt wurde, um die Verdunstung hintanzuhalten. So wurden weitere Stückchen der Oberfläche und zwar von der „vorderen Mittelzone", vom Äquator, von der „hinteren Mittelzone" und vom hinteren Pol entnommen und ihr Brechungs-

index bestimmt. Hierauf halbierte ich die Linse auf ihrer Unterlage durch einen Meridionalschnitt mittels eines dünnen scharfen Skalpells. Es ist kaum möglich, zwei absolut gleiche Hälften zu erhalten, aber auch nicht notwendig. Da es sich nunmehr darum handelt, ein Stückchen zu entnehmen, das möglichst genau dem Zentrum der Linse entspricht, so ist es im Gegenteile ganz vorteilhaft, wenn der Schnitt etwas an der Mitte vorbeigeht. Ich entnahm dann die Stecknadelkopf große Probe mit dem Löffel oder der Messerspitze natürlich aus der Schnittfläche der größeren Hälfte und zwar aus ihrem Zentrum. Nach Bestimmung des Index wurden noch einige weitere Stückchen aus der unmittelbaren Nachbarschaft untersucht und dasjenige mit dem höchsten Brechungsexponenten als das eigentliche Zentrum angesehen, gleich wie es auch Matthiessen getan hat.

Zur Untersuchung der oberflächlichsten Schicht der in situ, d. h. im Zusammenhange mit der Zonula, befindlichen Linse verfuhr ich folgendermaßen: Der meistens noch von Muskeln und Orbitalfett umgebene Bulbus wurde mit der Hornhaut nach oben in ein offenes Glasnäpfchen von solcher Größe und Höhe gelegt, daß er davon allseits ohne Veränderung seiner Form leicht umschlossen wurde; der Hornhautbezirk ragte über das Glas hervor. Nun führte ich mit dem Gräfe'schen Messer mit nach oben gerichteter Schneide eine Spaltung der Hornhaut nach Sämisch aus, wobei ich mit der linken Hand das Näpfchen und nötigenfalls mit einem Finger derselben den Bulbus selbst fixierte. Diese Fixation mit der Hand, durch die eine geringe Gestaltsveränderung des Bulbus auch bei größter Vorsicht ja nicht ganz ausgeschlossen war, machte ich bei den späteren diesbezüglichen Untersuchungen (beim Affen, Hund und Huhn) dadurch noch entbehrlich, daß ich den Bulbus in dem Näpfchen mit verflüssigtem, danach erstarrendem Paraffin bis zum Hornhautrande umgab, durch welches er allseits in seiner Lage genügend fixiert wurde. Hierauf ging ich mit der stumpfen Branche einer Schere durch den Spalt ein und exzidierte den zentralen Teil der Hornhaut etwa bis zum Pupillarrand. Dann entfernte ich sorgfältig mit einem spitzen Wattetupfer die Reste des Kammerwassers unter vorsichtigem Aufheben des Randes der Regenbogenhaut, um auch die Flüssigkeit in der hinteren Kammer ansaugen und so ein nachträgliches Wiederfeuchtwerden der Linsenoberfläche verhindern zu können. Jetzt eröffnete ich die vordere Kapsel am Pole in derselben Weise wie bei der isolierten Linse mittels

einer kleinen krummen Lanze und entnahm in der üblichen Weise mit dem Löffelchen vorsichtig eine Probe der Linsensubstanz. Im allgemeinen machte ich das Loch in der Hornhaut nicht größer als unbedingt erforderlich, um den starren Ring der tunica externa, in dem die Linse gleichsam aufgehängt ist, nicht unnötig zu verschmälern und so etwa die Spannung der Zonula zu beeinträchtigen.

Da es, wie schon weiter oben bemerkt, nur selten gelingt, ein Linsenstückchen von völliger optischer Homogenität zu erhalten, so ist die Auslöschungsgrenze im Refraktometer fast immer verwaschen. Es wurden so jedesmal mehrere Ablesungen nötig, von denen mindestens je eine der Hell- und der Dunkelgrenze entsprach; viel häufiger wurden aber mehr als 2, im Mittel 4—5, zuweilen sogar bis zu 12 Ablesungen an einer Probe gemacht. Zwischen ihnen wurde die Alhidade zurückgeschoben und wieder neu eingestellt, was durchschnittlich 6—8 Sekunden erforderte. Sämtliche Zahlen in den Tabellen stellen also das arithmetische Mittel von mehreren Einzelablesungen dar. Gleich wie schon frühere Untersucher machte ich die Bemerkung, daß nach mehreren Ablesungen die an dem Kreisbogen des Instrumentes festgestellte Zahl nicht mehr um einen gewissen Mittelwert hin- und herschwankte, sondern infolge Wasserverdunstung bei jeder weiteren Ablesung konstant anstieg; sobald dies bemerkt wurde, mußte dann die Untersuchung des betreffenden Linsenstückchens abgebrochen werden, ebenso, wenn zuweilen, wohl als Interferenzerscheinung, mehrere scharfe Linien im Gesichtsfelde auftraten.

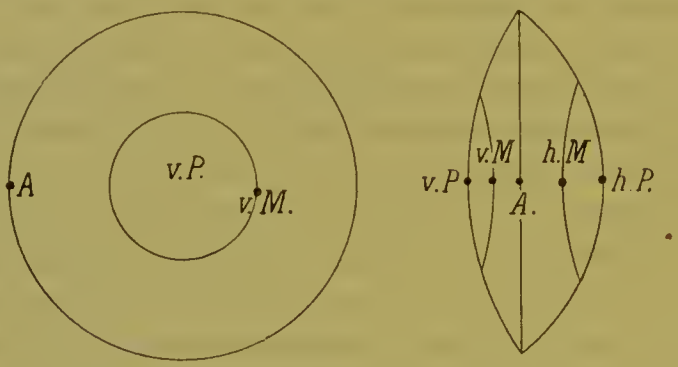
Bei aller Sorgsamkeit war es doch nicht immer möglich, von allen gewünschten Stellen einwandfreie Proben zu erhalten, namentlich betraf das die Gegend der Pole, wo der in Betracht kommende Bezirk der Oberfläche ja sehr klein ist. In diesen Fällen wurde natürlich keine Notiz gemacht; daher die Lücken in den Tabellen.

Was den Zeitpunkt der Untersuchung anlangt, so wurde er bei den Tieraugen in einigen Fällen absichtlich auf den Tag nach dem Tode verlegt, sonst wurde immer so bald untersucht, als es die Umstände gestatteten, öfters nur wenige Minuten post mortem. Bei Menschenaugen, die ich teilweise nur unter großer Mühe erhalten konnte, war der Termin in vielen Fällen leider nicht so früh, als wünschenswert gewesen wäre. Bei sämtlichen Augen ist der Zeitpunkt der Untersuchung genau angegeben, ihre Dauer betrug pro Linse durchschnittlich 10—25 Minuten.

Schilderung der Ergebnisse.

Ich wende mich zunächst zu den Befunden, die sich auf den Brechwert der äußersten Linsenschicht an verschiedenen Stellen der Oberfläche beziehen, sowie ihr Verhältnis zum Index des Kernzentrums, die aus später zu erörternden Gründen nur mit dem gewöhnlichen Abbe'schen Refractometer ausgeführt werden konnten. Ich faßte, wie schon erwähnt, namentlich 5 Stellen der Oberfläche ins Auge, nämlich die beiden Pole, den Äquator und je eine Stelle in der Mitte zwischen Pol und Äquator (vordere bezw. hintere Mittelzone), vgl. Fig. 1.

Fig. I.



Bei einer Anzahl von Linsen bestimmte ich auch die Indices verschiedener Stellen des Äquators und erhielt sehr übereinstimmende Zahlen, sodaß ich mich für berechtigt hielt, mich bei der jetzt interessierenden Frage auf eine Stelle des Äquators zu beschränken. Indessen wäre es, namentlich zum Studium des physiologischen und pathologischen Linsenastigmatismus, angebracht, wenn auch über die brechende Kraft innerhalb ein- und derselben Zone der Linsenoberfläche vergleichende Untersuchungen in größerem Maßstabe vorgenommen würden. Sie mögen für später vorbehalten bleiben. Weniger übereinstimmend als beim Äquator waren naturgemäß meine Befunde bei verschiedenen Punkten der sog. Mittelzone, da es nicht möglich war, die Proben von Stellen zu entnehmen, die alle genau den gleichen Abstand vom Pol bezw. Äquator hatten. Ich habe mich aber auch hier in der Regel mit der Entnahme von einem Punkte begnügt, nachdem sich bald herausgestellt hatte, daß das aus den gefundenen Brechwerten sich ergebende Gesetz für alle Punkte zwischen Pol und Äquator gilt.

Es mögen jetzt die Tabellen aller Oberflächenwerte für sämtliche von mir untersuchten normalen Linsen des Huhnes, des Schweines, des Schafes, der Ziege, des Rindes, des Pferdes, des Hundes, des Affen und des Menschen folgen:

Abkürzungen in allen folgenden Tabellen:

Die Klammer zwischen zwei Zahlenreihen verbindet die beiden Augen desselben Tieres.

Der Stern vor einer Zahl bedeutet, daß sich die Linse in situ, d. h. in Verbindung mit der Zonula, befand.

Tabelle I.

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Huhn.				
1a	6–8 Mon.	2	*1,38 24 6	*1,37 82 6	—	—	—
1b	„	2½	1,38 23	—	—	—	—
2a	„	1½	*1,38 14	*1,37 64 8	—	—	—
2b	„	2	1,38 11 8	—	—	—	—
3a	6–7 Jahre	1½	*1,38 34 6	—	—	—	—
3b	„	2	1,38 31 5	—	—	—	—
			Schwein.				
1a	3 Woch.	½	1,38 07 6	—	1,36 59	—	1,38 04 3
2	2 Monate	1½	1,38 19	1,37 73 6	1,37 51 2	1,37 83 6	1,38 82 6
3a	¼ Jahr	2½	*1,38 34	—	1,37 38	—	1,38 52
3b	„	2	1,38 77	1,38 37 6	1,38 25 8	—	1,38 58
4a	„	1	1,38 81 5	1,38 63 3	1,37 80	1,38 41 5	1,38 98
4b	„	1½	1,38 81	1,38 49	1,37 39	1,38 39	1,38 89 6
5a	„	3	1,38 16 6	1,38 13 3	1,37 17 7	1,37 36	1,38 34 6
5b	„	21½	1,38 99	1,38 71 5	1,37 94 2	1,38 18 3	1,39 29 5
6a	„	½	1,38 54	—	1,37 69 5	—	1,39 15
6b	„	6	*1,38 67 5	1,38 28 7	1,38 25 6	1,37 92 7	1,38 59 6
7a	¾ Jahre	6½	1,38 59	—	1,37 99	—	1,38 70 5
7b	„	7½	1,38 60	—	1,37 75 8	—	1,38 79 3
8a	„	1¾	—	—	1,37 73	1,38 31	1,38 36 3
8b	„	2¼	1,39 02 5	1,38 43 5	1,37 41 2	1,38 30 6	1,38 70 6

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Schwein.				
9a	3/4-1 Jahr	5	1,38 75	1,38 28 3	1,38 20	1,38 35	1,38 54 6
9b	„	6 1/2	*1,38 25 6	—	1,37 87	1,38 36 7	1,38 85 5
10a	1 Jahr	8 1/2	1,38 60 6	—	1,37 86	—	1,37 96
10b	„	26	1,38 50 2	1,38 75	1,38 24 6	—	1,38 65
11	1 1/2 Jahre	3 1/2	1,39 64 3	—	1,37 58 7	—	1,38 75 5
12a	„	1 1/2	1,37 79	1,37 52 5	1,37 40 5	1,38 72 6	1,39 24 5
12b	„	2 1/4	1,38 35	—	1,37 85	1,37 96 3	1,39 11
13a	2 1/2 Jahre	2 1/2	1,38 34	1,38 23	1,37 67 2	1,38 01 3	1,38 24
13b	„	3	*1,38 69	*1,37 93 3	1,37 70 7	1,37 90	1,38 29 2
14a	3 Jahre	7	1,38 56 6	1,37 53 5	1,37 32	1,37 73 6	1,38 64
15a	„	7	1,38 66 7	—	—	—	1,38 01 6
15b	„	7 1/2	*1,38 41 6	—	—	—	—
16a	3-4 Jahre	9	1,38 12 5	—	1,37 85	—	1,38 65
16b	„	26	1,38 64	—	1,37 87 3	—	1,38 83 5
17a	5 Jahre	7	1,38 94	1,38 65	1,37 82	1,37 92 6	1,38 70 2
17b	„	7 1/2	1,38 97	1,38 14	1,37 67	1,38 07	1,38 32
			Schaf.				
1a	3-4 Woch.	6	1,38 75 6	1,38 63	1,37 38 7	1,37 76 3	1,37 73
1b	„	6 1/2	*1,38 71 3	—	1,37 31 3	—	1,38 34 6
2a	1 Mon.	1/2	1,38 53	1,37 49 5	1,37 13	1,38 61 1	—
3	2 Mon.	3	1,38 59 5	1,38 31 6	1,37 50 2	1,38 40	1,38 77 5
4	1 1/2 Jahre	3	1,38 82 3	1,38 39 5	1,38 16 5	1,38 51 6	1,38 73
5a	„	7	1,38 59	1,38 17	1,37 38	1,37 62	1,38 55
5b	„	7 1/2	*1,38 68	—	1,37 61 6	—	1,38 39 6
6a	5 Jahre	24	1,38 64 6	1,38 51	1,37 74 6	1,38 40	1,39 82
6b	„	24 1/2	*1,37 82	*1,37 67	1 37 59 8	1,38 42	1,39 45 6
7a	6 1/2 Jahre	4	1,38 62	1,38 54 3	1,37 07	—	1,38 35 3
7b	„	4 1/2	1,38 39	—	1,57 39 3	—	1,38 23
8a	8 Jahre	5	1,38 59 3	1,37 89 5	1,37 49	1,38 34	1,38 66 3
8b	„	5 1/2	1,38 64 6	—	1,37 85 6	—	1,38 35

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Ziege:				
1a	3 Woch.	1¼	1,38 93 2	1,38 38 6	1,37 55 3	1,37 74 4	1,38 41 3
1b	„	2	*1,39 32	*1,38 47 2	1,36 77 5	—	1,38 10
2	„	⅓	1,38 80	1,38 04 7	1,37 36	1,38 66 5	1,39 05
3a	½ Jahr	3	1.38 09	1,37 71 3	1,37 52	1,37 57 4	1,38 87 2
3b	„	3½	1.38 92 5	1,38 56	1,37 44 8	1,38 51 6	1,38 92
4a	1½ Jahr	4	1,39 25	1,38 75 5	1,37 91 6	1 38 53 3	1,39 23 6
4b	„	4½	1,39 10 6	1,38 57 5	1,37 86	1,38 24 6	1,39 75
5a	„	3½	1,38 87 5	1,38 66 3	1,37 39 7	1,37 91	1,38 27
5b	„	4	*1,38 43 6	*1,38 28	1,37 46	1,37 84 5	1,38 42
6	5 Jahr	3	1,38 50	1,37 60 3	1,37 59 5	1,38 06	1,38 47 3
7	„	4	1,38 61 5	1,38 44 6	1,37 23 3	1,37 97	1,38 35
8	6 Jahr	8	1,38 57 3	1,38 06 3	1,37 41 3	1,38 27	—
9	7 Jahr	4½	1,38 73	1,38 32	1,37 04 6	1,37 52 3	1,38 44 2
			Rind:				
1a	Kalb, kurz vor Geburt	6	1,37 38	1,37 10 5	1,36 42	1,37 54 5	1,37 83
1b	„	9	1,37 53 6	1,37 30 6	1,36 56 5	1,36 67 5	1,37 33
2a	3 Woch.	2½	1,38 57 8	—	1,37 75 8	—	—
2b	„	3	1,39 77 8	—	1,37 92 2	—	1,38 81 5
3a	„	3	1,38 72 4	—	1,37 98 6	—	1,38 64 5
3b	„	3½	1,38 41 5	—	—	—	1,37 99 6
4a	3-5 Woch.	½	1,39 88 3	1,38 83	1,37 53 8	—	1,38 98
4b	„	1½	*1,37 94	*1,37 74	1,37 55 5	—	—
5a	4-6 Woch.	2	—	—	1,38 42	—	—
5b	„	3	1,38 88 5	—	1,37 30 2	—	—
6a	4-5 Woch.	½	1,38 64 7	1,38 43 5	1,37 76 8	1,37 68 3	1,38 01 4
6b	„	1¼	*1.38 34	—	1,37 63 4	—	1,38 82 6
7a	„	2½	1,39 41 5	—	1,37 28 4	—	1,39 71 5
7b	„	4	*1,38 82 5	*1,39 97 6	—	—	—
8	1 Jahr	2	1,39 19	—	1,37 21	—	1,39 46 5
9a	„	⅓	1,39 74 7	—	1,38 02 4	—	1,38 03 5
9b	„	1⅓	1,39 39 8	—	1.37 52	—	—
10a	„	1¼	1,39 68 6	—	1,38 01	—	1,40 24 3
10b	„	3	1,39 87 2	—	1,38 43	—	1,39 55 6
11	1-2 Jahre	4	1,38 54 5	1,38 25 5	1,37 75 3	1,38 57 8	1,38 77

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Rind.				
12	2 Jahre	1/4	—	—	1,37 31 4	—	1,39 16 5
13	2-3 Jahre	4	1,38 78	1,38 54 3	1,38 24 6	1,38 58 7	1,38 84 3
14	2 1/2-3 J.	2	1,39 11 1	—	1,37 37 8	—	—
15	3 Jahre	3/4	1 39 73 8	—	1,38 14	—	1,39 44 5
16	3-4 Jahre	1 1/2	1,39 36 3	—	1,37 75	—	1,39 36 5
17a	4-5 Jahre	2	*1,37 75	*1,37 69	1,37 74 2	1,38 41 8	1,38 91 2
17b	„	2 1/2	1,38 76 6	1,38 59	1,37 26 8	—	1,38 65
18a	6-7 Jahre	2	1,39 68 2	1,39 60 1	1,37 81 5	1,39 15 2	1,39 34
18b	„	3	*1,39 74 7	*1,38 38 5	1,37 88 2	1,38 53 3	1,39 77 2
19a	„	4 1/2	1,38 50	1,38 37 3	1,38 23 6	—	1,39 33 6
19b	„	5 1/2	*1,38 74 5	—	1,38 00 8	1,39 06 6	1,39 11 5
20	7-8 Jahre	2	—	—	1,38 21 2	—	—
21	9-10 Jah.	1/2	1,39 25 2	1,38 87 7	1,37 98 3	1,38 64 6	1,39 14 2
22a	12-14 J.	2 1/2	1,39 43 4	—	1,37 88 5	—	1,39 16 4
22b	„	8	1,39 77 6	—	1,38 49 2	—	1,38 93 5
23a	16-18 J.	1/4	1 38 54 6	1,38 39	1,37 54	1,37 98 6	1,39 19 7
23b	„	3/4	1 38 53	1,38 37 6	1,37 82	1,38 11 6	1,38 45 7
			Pferd.				
1a	9 Mon.	8	1,38 26 5	1,38 15 3	1,37 56 5	1,37 79 3	1,38 42
1b	„	8 1/2	*1,38 14 6	—	1,37 41	—	1,37 83
2a	1 1/2 Jahre	1/2	1,37 63 3	1,37 50	1,37 10 2	1,37 34 7	1,37 58 6
2b	„	1	*1,38 58	1,38 21	1,37 18	1,37 21 6	1,38 10 3
3a	2 Jahre	4	1,38 80 6	1,38 40 6	1,37 61	1,37 77 5	1,38 95 5
3b	„	4 1/2	1,38 41 3	—	1,37 75	—	1,38 74 5
4a	8 Jahre	3	1,38 20 5	—	1,37 79 3	1,38 01 5	1,38 19 6
4b	„	3 1/2	1,38 51 6	—	1,37 34	—	1,37 98 3
5	14 Jahre	2	1,38 56 3	1,38 47 3	1,37 80	1,38 16 5	1,38 60 7
6a	15 Jahre	1/4	1,38 16	1,38 08 4	1,37 71	1,38 61	1,38 94
6b	„	3/4	1,38 47 3	1,38 19	1,37 55 7	1,38 24	1,38 97 3
7a	ca. 15 Jhr.	1/2	1,38 82	1,38 17 5	1,37 77	1,38 21 5	1,38 85 6
7b	„	1 1/2	1,38 73	—	1,37 85 5	—	1,38 46
8	ca. 16 Jhr.	2	1,38 16 6	1,38 07 3	1,37 67 2	1,37 87	1,38 52 3
9	ca. 20 Jhr.	4 1/2	1,38 32	1,38 14 3	1,37 86 5	1,38 05	1,38 22
10	„	8	1,38 72 6	1,38 32	1,37 17 6	1,37 76 6	1,38 04 5
11a	23 Jahre Rassepferd	10	1,38 26	1,37 68 6	1,36 84	1,37 31 7	1,38 18
11b	„	10 1/2	1,37 84	—	1,36 96	—	1,38 02 5

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Hund.				
1a	Schnauzerl 1 3/4 Jahre	4	*1,39 44 5	*1,38 09 6	—	—	—
1b	„	4 1/2	1,39 76 7	—	—	—	—
2a	Russ. Bärenhund 3 1/12 Jhr.	24	*1,39 17	*1,38 34	—	—	—
2b	„	24	1,39 59 6	—	—	—	—
			Affe.				
1a	Husarenaffe jung	1/4	*1,38 57	*1,37 85 5	—	—	—
1b	„	3/4	1,38 92 3	1,38 70 6	—	—	—
2a	Rhesus 1 1/2-2Jhr.	1/4	*1,39 37 2	*1,39 00 7	—	—	—
2b	„	3/4	1,39 45 3	—	—	—	—
4a	Macacus ca. 3 Jhr	1/2	*1,38 89 3	1,38 61	—	—	—
4b	„	2	1,39 66	—	—	—	—
			Mensch.				
	Foetus						
1a	9 Mon.	? 5 1/2	1,38 95 5	—	1,37 58 6	—	1,37 73 2
1b	„	„ 7	1,38 66 3	—	1,37 19 5	—	1,37 62
2a	Neugeb.	w. 8	1,38 41	—	1,37 18 2	—	1,37 92
2b	„	„ 8 1/4	1,38 41	—	—	—	—
3a	„	? 22	1,38 75	—	1,37 29 6	—	1,38 20
3b	„	„ „	—	—	1,37 02 7	—	1,38 44 5
4a	„	m. 27	1,39 17	—	1,37 51	—	1,38 65 2
4b	„	„ 27 1/2	1,38 27 2	—	1,37 14	—	1,37 76 5
5a	„	w. 9	1,38 61	1,38 10 3	1,37 19 2	—	1,38 48
5b	„	„ 9 1/4	1,39 23	—	1,37 39 3	—	1,38 66 7

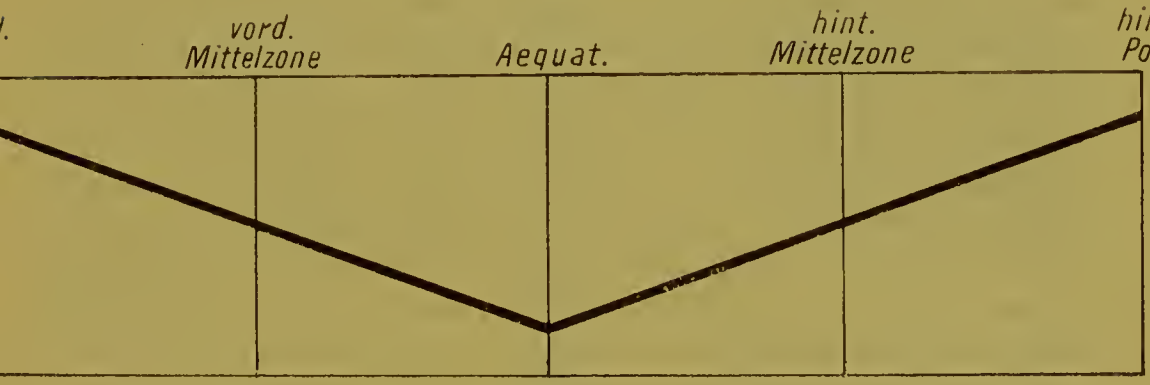
Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index der oberflächlichsten Schicht: vorderer Pol	vordere Mittelzone	Äquator	hintere Mittelzone	hinterer Pol
			Mensch.				
6a	3 Jahre	w. 24	—	—	—	--	1.38 45 6
6b	„	„ „	1,38 58 6	—	1,37 89	—	1,38 72 6
7	10 Jahre	w. 19	1,39 13	1.38 30	1,38 03	1,38 31	1,38 48 3
8a	16 Jahre	m. 7½	1,38 70	1,38 46 3	1,37 55 5	1,38 23 3	1,38 52 5
8b	„	„ 8	1,38 76	—	1.37 62 2	–	1,38 79 3
9a	21 Jahre	m. 30	1.38 60	—	1,37 37 5	1,37 89	1,38 66 7
9b	„	„ „	1,38 39	1,38 17 2	1,37 69 3	1,38 51 5	1.38 80
10a	28 Jahre	m. 40	1,38 76 2	—	1.36 85 5	1,37 05 6	1,39 07
10b	„	„ „	1,38 46 5	1.38 15	1,37 92	1,38 05 6	1,38 58 2
11a	„	w. 32	1,38 91	1,38 13 3	1.37 79 6	1,38 39 3	1 38 94 3
11b	„	„ „	1,38 41 3	—	1 37 54 6	—	1.38 70 3
12a	29 Jahre	w. 11	1,38 56 2	1,38 08	1,37 51 3	1,37 74	1,37 83
12b	„	„ 11½	1,38 34	–	1,37 42	--	1.37 81 5
13a	37 Jahre	m. 50	1,39 84	1,39 22	1,39 07 6	1,39 27	1 39 44
13b	„	„ „	1 39 69	1,39 45 6	1,39 17 3	1,39 27	1,39 61 5
14a	41 Jahre	w. 16	1,39 59 6	1,38 64 3	1,38 52 2	1,39 25	1,39 43 6
14b	„	„ 16½	1,39 51 2	1 38 50	1,38 17 5	1,38 14 6	1.38 72 5
15a	„	m. 16	1,38 60 6	1,38 18 5	1,38 10	1,38 95	1.39 26 3
15b	„	„ 16½	1,38 60 3	1,38 39 5	1,38 12 6	1.38 15	1,38 41 6
16a	45 Jahre	m. 20	1,38 51 6	1,38 29	1.38 09 2	1,38 40	1,38 70 3
16b	„	„	1,38 49	—	1.38 06 2	—	1,38 49
17a	48 Jahre	w. 36	1,39 47 6	1,38 44 6	1.38 31 7	1,38 61 3	1,38 92
18	„	m. 35	1.38 79 6	--	1.37 60 6	—	1,38 50 5
19a	49 Jahre	m. 60-70	1,38 44 3	1,38 25 5	1,38 29 5	1,38 27 5	—
19b	„	„	1,38 74 3	1.38 47 6	1.37 95	1.38 03	1,38 35 7
20a	51 Jahre	m 17	1,38 90	1,37 67 5	1,37 32	1,37 98	1,38 26 3
20b	„	„	1,38 47 3	—	1,37 66 3	—	1,38 66
21a	53 Jahre	m. 33	1,38 78 3	1,38 25 3	1,37 44 3	1,37 99	1,38 63
21b	„	„	1,38 49 5	1,37 98	1,37 56	1,37 75 5	1,38 13 3
25	60 Jahre	m. ¼h	1,38 49 8	1 37 81 6	1,36 90 8	--	1,37 54
22a	61 Jahre	m. 18	1.38 41 2	1,38 09	1,37 68 2	1,38 37 5	1 38 72 5
22b	„	„	1,38 52	—	1,37 59 7	1,37 94 5	1,38 46 3
23	74 Jahre	w. 13	1,38 61 6	1,38 18 7	1,37 51	1,37 67 3	1,38 54 6
24	80 Jahre	m. 7	1,38 24 5	1,37 98 3	1,37 71 7	—	1,38 36 2

Für jedes einzelne Auge betrachtet, ergeben die Tabellen, daß vom Äquator aus nach dem vorderen und nach dem hinteren Pol zu das Brechungsvermögen der oberflächlichsten Schicht zunimmt. Die Äquatorgegend hat also stets den niedrigsten Index an der ganzen Linse. Der Brechwert der sog. Mittelzone liegt (mit verschwindenden Ausnahmen) stets zwischen dem des zugehörigen Pols und des Äquators.

Dieses Gesetz ist für alle untersuchten Tiere einschließlich des Menschen und für alle Lebensalter gültig.

Die folgende Figur II soll das Sinken des oberflächlichen Brechungsindex vom vorderen Pol nach dem Äquator und das Wiederansteigen von da bis zu ungefähr der früheren Höhe nach dem hinteren Pol zu g r o b s c h e m a t i s c h veranschaulichen.

Fig. II.



In Wirklichkeit wird diese Oberflächenindicialkurve wohl einen komplizierteren Verlauf haben. Derselbe würde nur bei Berücksichtigung von zahlreicheren, genau gleichweit voneinander entfernt gelegenen Stellen der Strecke zwischen Pol und Äquator mit genügender Genauigkeit festzustellen sein. Die Inangriffnahme dieser Aufgabe würde für dieses Mal zu weit geführt haben, da ich darauf bedacht sein mußte, die einzelnen Linsen wegen der Verdunstung nicht gar zu lange zu benutzen, zumal ich noch weitere wichtige Feststellungen an dem teilweise kostbaren Material machen wollte. Ich beschränkte mich daher zunächst darauf, festzustellen, wie sich der Brechungsindex der Oberfläche an einem Punkte zwischen Pol und Äquator verhält und wählte hierzu möglichst die Mitte der in Betracht kommenden Strecke.

Die Annahme M a t t h i e s s e n s , daß die oberflächlichste Schicht der Linse an allen Stellen gleich brechend sei, ist jedenfalls

nicht richtig, vielmehr sind sogar erhebliche Indexunterschiede vorhanden, die von nicht zu vernachlässigendem Einflusse auf den Gang der in die Linse eintretenden Lichtstrahlen sein dürften und zwar von um so größerem, je weiter seitlich sie einfallen.

Ich hoffe so durch meine Messungen unter anderem für das ja noch keineswegs abgeschlossene Studium der sphärischen Aberration des Auges des Menschen und höherer Tiere einiges Material gewonnen zu haben.

Interessant ist die Frage, ob die obige Kurve mit zunehmendem Alter in ihrer Steilheit sich ändert, d. h. ob der Unterschied zwischen Polindices und Äquatorindex zu- oder abnimmt. Es würde dies Licht auf die Veränderungen der sphärischen Aberration des Auges während des Lebens werfen. Untersuchungen hierüber, die sich namentlich auf skiaskopische Refraktionsunterschiede beziehen, habe ich zwar bereits angestellt*), hierher gehören jedoch nur die Änderungen der Index unterschiede zwischen der axialen und äquatorialen Zone der Linse in verschiedenen Lebensaltern. Sind in der Tat solche vorhanden und welcher Art? Wie weit bestehen außerdem individuelle Schwankungen? Das sind Fragen, die besonders beim Menschen Aufmerksamkeit verdienen. Ist doch die Sehschärfe in gewissen Grenzen von der Pupillenweite abhängig, die sich bekanntlich mit dem Alter ändert und auch sonst bedeutende, teilweise von dem Refractionszustande abhängige Unterschiede zeigt.

Allerdings ist vorläufig noch nicht zu sagen, ob Änderungen im Verlaufe der Indicialkurve während des Lebens unter physiologischen Verhältnissen, d. h. bei den natürlichen Schwankungen der Pupillenweite, ihre Wirkung äußern können. Dies wird natürlich erst dann abzuschätzen sein, wenn einmal noch genauere Kurven mit darauf fußenden mathematischen Deduktionen vorliegen. Immerhin ist heute schon, wenn auch nicht der Verlauf im einzelnen, so doch wenigstens der Wechsel in der Steilheit der Oberflächenindicialkurve einigermaßen festzustellen.

Aus den vorhergegangenen Tabellen sind diese Verschiedenheiten nur mühsam erkennbar. Da es sich schließlich um die genauen Differenzen zwischen den Indices, namentlich um die zwischen Pol- und Äquatorwerten, handelt, und diese naturgemäß in der zweiten oder

*) Erscheinen im „Archiv für Augenheilkunde".

dritten Dezimale bleiben müssen, so ist nur durch Vergleich dieser Zahlen ein Bild von den fraglichen Verhältnissen zu gewinnen. Ich unterzog mich deshalb der kleinen Mühe, sie auszurechnen. Folgende Tabelle berichtet darüber in einem kurzen Auszuge.

Tabelle II.

Alter	Indexdifferenz zwischen Äquator und vord. Pol	hint. Pol	Alter	Indexdifferenz zwischen Äquator und vord. Pol	hint. Pol
	Schwein.			**Rind.**	
3 Wochen	0,01 48 6	0,01 45 3	3—5 Wochen	0,02 34 9	0,01 44 2
2 Monate	0,00 67 8	0,01 31 4	„ „	*0,00 38 5	
½ Jahr	*0,00 96	0,01 14	1 Jahr	0,01 67 6	0,02 23 3
„ „	0,00 51 2	0,00 32 2	„ „	0,01 44 2	0,01 12 5
¾—1 Jahr	0,00 55	0,00 34 6	4—5 Jahr	*0,00 00 8	0,01 17
„ „	*0,00 38 6	0,00 98 5	„ „	0,01 49 8	0,01 38 2
3 „	0,01 24 6	0,01 32	16—18 „	0,01 20 6	0,01 65 7
5 „	0,01 12	0,00 88 2	„ „	0,00 71	0,00 63 7
„ „	0,01 30	0,00 65	Im Mittel (33 Augen)	0,01 25 9	0,01 22 8
Im Mittel (28 Augen)	0,00 86 2	0,00 95 6			
	Schaf.				
3 Wochen	0,01 37 9	0,00 34 3			
„ „	*0.01 40	0,01 03 3			
1½ Jahr	0.01 21	0,01 17			
„ „	*0,01 06 4	0,00 78		**Pferd.**	
5 Jahre	0,00 90	0,02 07 4	9 Monate	0,00 70	0,00 85 5
„ „	*0,00 22 2	0,01 85 8	„ „	*0,00 73 6	0,00 42
8 „	0,01 10 3	0,01 17 3	2 Jahr	0,01 19 6	0,01 34 5
„ „	0,00 79	0,00 49 4	„ „	0,00 66 5	0,00 99 5
Im Mittel (13 Augen)	0,01 01 9	0,01 07 6	15 Jahr	0,00 45	0.01 23
			„ „	0,00 91 6	0,01 41 6
	Ziege.		23 „	0,01 42	0,01 34
			„ „	0,00 88	0,01 06
3 Wochen	0,01 37 9	0,00 86	Im Mittel (18 Augen)	0,00 87	0,00 87 1
„ „	*0,02 54 5	0,01 32 5			
1½ Jahr	0,01 47 8	0,00 87 3			
„ „	*0,00 97 6	0,00 96			
7 „	0,01 68 4	0,01 39 6			
Im Mittel (13 Augen)	0,01 32 4	0,01 24 9			

Alter	Geschlecht	Indexdifferenz zwischen Äquator und vorderem Pol	Indexdifferenz zwischen Äquator und hinterem Pol
		Mensch.	
Neugeboren	m.	0,01 68	0,01 14 2
„	„	0,01 13 2	0,00 62 5
16 Jahre	m.	0,01 14 5	0,00 97
„ „	„	0,01 13 8	0,01 17 1
29 „	w.	0,01 04 9	0,00 31 7
„ „	„	0,00 92	0,00 39 5
51 „	m.	0,01 58	0,00 94 3
„ „	„	0,00 81	0,00 99 7
80 „	m.	0,00 52 8	0,00 64 5
Im Mittel (41 Augen)		0,01 01 6	0,00 84 4

Es läßt sich aus diesen Zahlen wohl nur der Schluß ziehen, daß ein sukzessives Ansteigen oder Abnehmen des Indexunterschiedes zwischen Äquator und Polen im Laufe des Lebens bei den daraufhin untersuchten Tieren nicht wahrscheinlich ist; es finden sich sowohl in der Jugend wie im Alter höhere und niedrigere Unterschiedswerte. Noch deutlicher tritt dies bei Betrachtung der hier aus Raumökonomie unterdrückten vollständigen Tabelle von allen untersuchten Augen hervor.

Feststehend ist, unter dem notwendigen Vorbehalt der möglichen Untersuchungsfehler, nur ein starkes Schwanken der betr. Zahlen überhaupt, auch bei den Linsen ein und desselben Tieres. Die verschiedenen Tierarten verhalten sich nicht völlig gleich. Wie die beigefügten Mittelwerte ergeben, ist die Oberflächenindicialkurve am steilsten bei Ziege und Rind, am flachsten bei Pferd und Schwein.

Wie bei den Tieren sind beim Menschen nicht selten auch an beiden Linsen desselben Individuums beträchtliche Unterschiede vorhanden. (Es darf vielleicht kurz erwähnt werden, daß ich auch skiaskopisch in den äquatorialen Linsenteilen kein einheitliches Verhalten fand.)

Ich wende mich nun zu der Frage, ob im accommodierten (isolierten) Zustande der Linse sich am vorderen Pol ein niedriger brechender Eiweißkörper befindet als an der Linse, so lange die Zonula noch ge-

spannt ist. Heine kam bekanntlich zu diesem Ergebnisse beim Menschen. Er bemerkte allerdings dabei, daß er dies nicht für die alleinige Ursache der stärkeren Brechung des akkommodierten Auges halte, sondern diese in erster Linie doch auf die bei der Akkommodation vermehrte Wölbung der vorderen Linsenfläche beziehe. Dennoch ist wohl die Frage der Beachtung nicht unwert, einmal, weil noch in neuerer Zeit der Anschauung Ausdruck gegeben wurde, daß bei der Accommodation keine Erschlaffung, sondern eine vermehrte Spannung der Zonula ciliaris stattfinde (Tscherning), ferner weil damit der Fall eines beständigen gesetzmäßigen Wanderns eines Eiweißkörpers innerhalb der oberflächlichen Linsenfasern gegeben wäre.

Leider konnten diese Untersuchungen von mir nicht beim Menschen durchgeführt werden, da in den meisten Fällen die Linse nur isoliert zu erhalten war. Bei den Tieren hingegen, deren akkommodative Vorgänge ja ohnehin noch die Aufmerksamkeit der Forscher verdienen, war ich in der Lage, mehrfach Messungen in der angedeuteten Richtung vornehmen zu können.

Bei der Verwertung dieser Befunde und für ihre etwaige Übertragung auf menschliche Verhältnisse ist indessen zu berücksichtigen, daß das Akkommodationsvermögen der Tiere ein sehr verschiedenes ist. Bereits im Jahre 1886 stellte Würdinger (62a) in einer unter Eversbuschs Leitung entstandenen Arbeit fest, daß unsere als Haustiere gehaltenen Wiederkäuer nur wenig Akkommodationsmuskulatur besitzen; größer ist dieselbe bei Raubtieren (einschließlich des Hundes), noch größer bei Affen und bei der Fischotter. Ich mußte deshalb außer Schwein, Ziege, Schaf, Rind und Pferd für die vorliegende Frage auch noch Augen von stärker akkommodierenden Tieren heranziehen und wählte hierzu solche vom Hunde, vom Affen und vom Huhn. Das Vogelauge eignete sich ja infolge seines vorzüglich ausgebildeten Akkommodationsapparates besonders. Am idealsten wären die Verhältnisse wohl beim Raubvogel, doch mußte ich darauf verzichten, davon hinreichend frische Augen zu bekommen.

In den Tabellen I und II sind die an der in situ befindlichen Linse gewonnenen vorderen Polindices mit einem Stern bezeichnet. Die zur Gewinnung der nötigen Substanz befolgte Methode wurde bereits geschildert. Von 5 Schweinslinsen zeigen allerdings 2 höhere, die 3 anderen dagegen niedrigere Werte als die isolierten Linsen derselben Tiere. Bei den 3 Schafslinsen ist nur einmal ein höherer, aber

zweimal ein niedrigerer vorderer Polindex als an der akkommodierten Linse vorhanden. Eine von zwei in situ befindlichen Ziegenlinsen hatte vorn einen größeren, die andere einen kleineren Index als die isolierte „Schwesterlinse". Auch die Rinder zeigten in der Hinsicht kein einheitliches Verhalten: vier vordere Polindices waren teilweise nicht unbeträchtlich niedriger und nur zwei um ein geringes höher als die der zugehörigen isolierten Linsen. Beim Pferde war ebenfalls in beiden Fällen das Verhalten verschieden.

Von den Tieren mit stärkerem Akkommodationsmuskel war bei zwei jungen, verschieden alten Hunden der vordere Polindex „in situ" in jedem Falle niedriger als bei der zweiten, isoliert untersuchten Linse; das gleiche gilt von zwei jüngeren Affen, während bei einem dritten, etwas älteren Affen an der isolierten Linse ein sogar nicht unwesentlich höherer Index als an der im Bulbus befindlichen gemessen würde. Bei zwei jungen und einem älteren Huhn war zwar der Polindex an der isolierten Linse um ein geringes niedriger als an der „in situ" befindlichen, doch handelte es sich nur um 1—3 Einheiten der vierten Dezimale, die durchaus innerhalb der Fehlergrenzen liegen.

Bei Hund, Affe und Huhn wurde übrigens, wie schon weiter oben erwähnt, der Bulbus während der Untersuchung in Paraffin eingebettet und gar nicht mit den Fingern berührt, so daß jedenfalls eine manuelle Entspannung der Zonula nicht in Betracht kommen konnte; beim Huhn ist zudem der knöcherne Scleralring der beste Schutz zur Erhaltung der Form des vorderen Augenabschnittes.

Nach allem ist es mir nicht möglich, H e i n e s beim Menschen gezogene Folgerungen, die sich übrigens, wie man durch Vergleich seiner Tabellen Nr. 1 und 2 (1 c) leicht ersehen kann, auf Zahlen gründen, aus denen ich nicht denselben Schluß wie H e i n e ziehen kann, in diesem Punkte für Tiere zu bestätigen*). Es scheint vielmehr das Wandern eines niedriger brechenden Eiweißkörpers nach dem vorderen Pol von seitlich davon gelegenen Stellen während der Akkommodation auch beim Menschen bisher nicht erwiesen, bei den von mir untersuchten Tieren jedenfalls recht unwahrscheinlich.

---

*) Das arithmetische Mittel seiner vorderen Polwerte für die 11 in situ befindlichen Linsen ist mit 1,3958 nur etwas höher als dasjenige der 33 isolierten Linsen unter 70 Jahren (Altersgrenze der Accommodationsfähigkeit), das 1,3922 beträgt, während Heine den viel zu niedrigen Wert von 1,38—1,385 der Berechnung des Totalindex der isolierten Linse zugrunde legt.

Auch die Feststellung Heines, daß sich in den peripupillaren Teilen der nicht akkommodierten menschlichen Linse ein Eiweißkörper mit demselben Index wie der am vorderen Pol der akkommodierten Linse findet, kann ich für Tiere nicht bestätigen, indem alle seitwärts vom vorderen Pol in situ ermittelten Brechwerte unter denen des Poles der zweiten isolierten Linse desselben Tieres bleiben.

Es ist nunmehr des absoluten Wertes des Brechungsindex der äußersten Linsenschicht in den verschiedenen Altern zu gedenken. Ein Ansteigen würde die Ansicht von Donders, sowie die Befunde von Woinow und Heine, ein Gleichbleiben die Ergebnisse von Matthiessen und Bertin-Sans befestigen.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der 6 jüngsten und 6 ältesten Tier- und Menschenaugen für den vorderen Pol, hinteren Pol und Äquator zur größeren Anschaulichkeit zusammengestellt:

Tabelle III.

Nr.	Linsen	Mittelwerte der Indices am vorderen Pol	Äquator	hinteren Pol
	Huhn.			
3a—3b	alte	1,38 30 5	—	—
1a—2b	junge	1,38 12 9	—	—
	Differenz	0,00 17 6	—	—
	Schwein.			
13b—17b	älteste	1,38 62 6	1,37 70 6	1,38 52 7
1a—4b	jüngste	1,38 50	1,37 48 8	1,38 64 1
	Differenz	0,00 12 6	0,00 21 8	— 0,00 11 4
	Schaf.			
6a—8b	älteste	1,38 45 4	1,37 52 5	1,38 81 2
1a—5a	jüngste	1,38 68 4	1,37 51 8	1,38 42 1
	Differenz	— 0,00 23	0,00 00 7	0,00 39 1

Nr.	Linsen	Mittelwerte der Indices am vorderen Pol	Äquator	hinteren Pol
	Ziege.			
5a—9	älteste	1,38 62 1	1,37 35 7	1,38 53 2
1a—4b	jüngste	1,38 75	1,37 35 2	1 38 62 9
	Differenz	— 0,00 12 9	0,00 00 5	— 0,00 09 7
	Rind.			
19b—23b	älteste	1.39 05 4	1,37 86 3	1.39 00 2
1a—4b	jüngste	1.38 88 6	1,37 98 8	1.38 54 6
	Differenz	0,00 16 8	— 0.00 12 5	0,00 45 6
	Pferd.			
7b—11b	älteste	1,38 34	1.37 39 4	1,38 24 2
1a—3b	jüngste	1,38 30 7	1,37 43 6	1,38 27 3
	Differenz	0,00 03 3	— 0,00 04 2	— 0,00 03 1
	Hund.			
2a—2b	ältere	1,39 38 3	—	—
1a—1b	jüngere	1,39 60 6	—	—
	Differenz	— 0.00 22 3	—	—
	Affe.			
3a—3b	ältere	1.39 41 2	—	—
1a—2b	jüngere	1,38 74 6	—	—
	Differenz	+ 0,00 66 6		
	Mensch.			
21b—25	ältere	1.38 46 4	1,37 49 5	1,38 29 4
1a—4a	jüngere	1,38 58	1.37 31 8	1,38 27 5
	Differenz	— 0.00 11 6	+ 0 00 17 7	+ 0,00 01 9

Die Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Augen sind also bei Mensch, Hund, Pferd, Ziege, Schwein und Huhn sehr gering und halten sich innerhalb weniger Einheiten der 3. Dezimale; sie sind demnach bedeutend geringer als die der Oberflächenwerte ein und derselben Linse. Einigermaßen erheblich war die Zunahme des Index nur bei alten Rindern und allenfalls noch bei Schafen am hinteren Pol, mehrfach ist dagegen sogar eine leichte Abnahme festgestellt. Beim Affen war die Differenz am vorderen Pol etwas erheblicher, doch war der Altersunterschied der Tiere verhältnismäßig nur gering (es waren alles jüngere Affen), sodaß man keine rechten Schlüsse auf Altersveränderungen ziehen kann. Auch fehlen hier die Zahlen für den Äquator und hinteren Pol, da ich die Linsen, von denen noch die Indicialkurve bestimmt werden sollte, nicht zu sehr verstümmeln und der Verdunstung aussetzen mochte.

Beim Menschen im Besonderen war an alten Linsen der Brechungsexponent des Äquators und hinteren Poles durchschnittlich um ein geringes höher als an jungen, der des vorderen Poles dagegen um ein kleines niedriger. Von einer in Betracht kommenden regelmäßigen Erhöhung der Brechkraft der ganzen äußeren Rinde kann somit m. E. weder bei den Tieren noch beim Menschen gesprochen werden. Die Angaben Bertin-Sans' für Rind und Schaf kann ich an größerem Material bestätigen, nicht dagegen die Woinows und Heines beim Menschen.

Inwieweit die von früheren Untersuchern gefundenen Indices für die äußere Linsenschicht durch meine Mittelwerte ergänzt und berichtigt werden, ergibt sich unschwer durch einen Vergleich meiner Tabelle V mit der bereits am Schlusse des historischen Überblicks gemachten Zusammenstellung. Beim Schweine stimmen meine Polindices gut mit dem Rindenwert Chossats überein, beim Schaf mit den Zahlen W. Meyers, hier ist auch in den Äquatorwerten Übereinstimmung mit Bertin-Sans vorhanden. Bei der Ziege sind meine Oberflächenindices beträchtlich niedriger als die von Valentin für die äußere und mittlere Schicht gefundenen Zahlen. Beim Rinde fand ich die oberflächlichste Schicht um ein geringes höher brechend als Matthiessen und Mönnich, auch die Äquatorwerte sind etwas größer als die von Bertin-Sans. Die Polindices des Pferdes stimmten mit denen von Matthiessen und Becker so ziemlich überein, erreichten hingegen nicht diejenigen Kling-

bergs. Beim Hund sind meine Polwerte höher als die Meyers und erheblich höher als die Zahlen Matthiessens für die äußere Schicht. Meine Werte für die vordere Mittelzone und für die Äquatorgegend, welch letztere sich weiter hinten in den Diagrammen finden, nähern sich indessen wieder sehr den Zahlen Meyers und Matthiessens. Beim Menschen befinde ich mich fast in Übereinstimmung mit Matthiessen und den von Heine für die akkommodierte Linse berechneten Werten. Meine Äquatorindices würden ungefähr dem Brewster'schen Rindenindex entsprechen.

Die Indices zwischen Oberfläche und Kernzentrum gelegener Schichten bestimmte ich an einer Reihe von Linsen mit dem gewöhnlichen Abbe'schen Refraktometer, bei einer anderen, größeren Reihe mit dem nach Halben verbesserten Instrument im Zusammenhange mit den Indices des Kernzentrums. Diese letzten Untersuchungen sollen weiter unten zugleich mit den Eigenschaften des Halben-schen Apparates zusammen besprochen werden.

Bei den mit dem Abbe'schen Refraktometer gemachten Messungen ging ich in der Weise vor, daß ich bei der isolierten Linse mit der Materialentnahme sukzessive von einem bestimmten Punkte der Oberfläche in radiärer Richtung in die Tiefe ging.

Es lag nicht in meiner Absicht, die Untersuchungen Matthiessens oder Mönnichs zu wiederholen, wozu das gewählte Verfahren nicht geeignet gewesen wäre; denn es gestattet nicht, den gegenseitigen Abstand der Stellen, von denen die Pröbchen stammen, genau zu bestimmen. Vielmehr faßte ich außer dem Gesichtspunkte, mich von dem Ansteigen des Brechungsindex nach innen auch persönlich zu überzeugen, noch zwei Fragen ins Auge: 1. ob die Annahme Bertin-Sans', daß die längs eines zum Äquator führenden Radius entnommenen Linsenstückchen im allgemeinen homogener sind und eine schärfere Exstinktionslinie im Refraktometer ergeben als die von der Achse, zutrifft. Ich fand dies nicht bestätigt. Die Erklärung hierfür ergibt sich aus der weiter unten zur Erörterung gelangenden größeren Differenz des Äquator- und Kernindex. 2. Hoffte ich vielleicht feststellen zu können, an welcher inneren Schicht die sog. Kernreflexe zustande kämen. Bei dem oben geschilderten Verfahren ist nämlich mit dem zur Entnahme der Substanzproben bestimmten Instrument (Löffelchen) die verschiedene Konsistenz der Schichten ziemlich deutlich zu bemerken. Wenn man nach Eröffnung

der Kapsel bei der großen Linse eines älteren Rindes das sehr leicht in der Hand gehaltene Löffelchen zart in das Innere einführt, so kann man deutlich fühlen, daß es bald auf eine dichtere Schicht gewissermaßen aufstößt, in die einzudringen einen etwas stärkeren Druck erfordert. Ich hoffte nun durch Entnahme einer Probe dicht vor und einer dicht hinter dieser Grenze vielleicht einen besonders starken Brechungsunterschied der betreffenden beiden Schichten refraktometrisch bestimmen zu können. Es gelang mir aber nicht. Wenigstens fand ich zwischen anderen aus verschiedener Tiefe der Rindslinse entnommenen Proben ebenso große oder noch größere Differenzen. In der Tabelle, die die Indices verschiedener Schichten von Rindslinsen enthält (Nr. IV), ist da, wo ein besonders starker Konsistenzunterschied der Linsensubstanz zu fühlen war, ein Strich angebracht. Ich glaubte einige dieser Zahlen doch nicht unterdrücken zu sollen, da, obwohl sich aus ihnen nichts besonders neues ergibt, bisher von ein- und derselben Linse keine von den Polradien und dem Äquatorradius zugleich und zudem an Tieren verschiedenen Alters mit dem Abbe'schen Refraktometer gewonnenen Indicialwerte vorliegen. Daher mögen sie in kurzem Auszuge hier Platz finden. Genauere Bestimmungen der sog. Indicialkurve nach verbesserter Methode werden, wie gesagt, weiter unten mitzuteilen sein.

Tabelle IV.

Alter	Indices verschiedener Schichten nach innen vom		
	vorderen Pol	Äquator	hinteren Pol
	Rind.		
3 Wochen	1,39 77 8	1,37 92 2	1.38 81 5
	1,41 41 7	1,40 13	1 40 89 6
	1,42 03 4	1,40 90 7	1.41 23 8
	1,42 57 2	1,42 12 8	1 42 57 2
		1,42 57 2	
4—5 Wochen	1,39 41 5	1,37 28 4	1,39 71 5
	1,40 45 1	1,39 87 5	1,40 98 6
	1,42 20 5	1 41 50 1	1,41 46 7
	1,43 40	1,41 93 6	1,42 87
		1,43 40	1,43 40

Alter	Indices verschiedener Schichten nach innen vom vorderen Pol	Äquator	hinteren Pol
	Rind.		
1 Jahr	1,39 19	1,37 21	1,39 46 5
	1,41 07 9	1 37 81 4	1,41 61 5
	1,41 45 5	1,40 88 1	1,42 15 6
	1,41 91	1,41 32	1,42 56
	1,44 39 8	1,44 39 8	1,44 39 8
3 Jahre	1,39 73 8	1,38 14	1,39 44 5
	1,41 55 8	1,40 40 6	1,40 37 8
	1,42 20	1,41 27 6	1,42 00 6
	1,43 79 2	1,43 68 4	1,43 40 7
	1,44 84 7	1,44 84 7	1,44 84 7
12—14 Jahre	1,39 43 4	1,37 88 5	1,39 16 4
	1,39 79	1,39 21 4	1 40 09
	1,41 09	1,40 23 5	1,42 03 5
	1,42 11	1,42 01	1,43 86
	1,44 68	1,42 87	1,45 75 3
	1,45 75 3	1,43 48 4	
		1,45 75 3	

Mehr Glück als beim Rinde hatte ich in der Frage des stufenförmigen Absatzes in der Indicialkurve bei einem menschlichen Auge, das von einem 80 jährigen Manne stammte. Hier stieß ich bei der Entnahme einer Substanzprobe von nicht 1 mm Dicke in der vorderen Polgegend auf eine deutlich konsistentere Schicht mit wesentlich höherem Brechungsindex, ebenso ging es am hinteren Pol und am Äquator. Mit den Fingern ließ sich dann auch die oberflächliche dünne Lage von dem „Kern“ leicht abstreifen, sodaß letzterer als ziemlich glattes Gebilde zurückblieb. An diesem waren weder auf dem Durchschnitt noch sonstwie schichtenweise Konsistenzunterschiede nachweisbar, vielmehr nahm die Linsensubstanz ganz allmählich nach dem Zentrum an Härte zu. Es muß erwähnt werden, daß die unverletzte Linse äußerlich durchaus homogen aussah und nicht etwa den Anblick der sog. „Linse mit doppeltem Brennpunkt“ oder des „falschen Lenticonus“ bot. Die gefundenen Indices waren:

Tabelle V.

	Vorderer Pol	Äquator	Hinterer Pol
	Mensch, 80 Jahre.		
I. Schicht	1,38 24 5	1,37 71 7	1,38 36 2
II. „	1,39 73 3	1,39 55 2	1,39 21
Kernzentrum	1,40 52 5	1,40 52 5	1,40 52 5

Diese verhältnismäßig große Indexzunahme in zwei dicht aufeinander folgenden, auch durch ihre Konsistenz bereits von einander deutlich differenten Schichten (vgl. die schematische Fig. III), läßt es wohl gerechtfertigt erscheinen, sie mit den Kernbildern in Beziehung zu bringen, deren besonderer Nachweis in diesem Falle etwa vor Beginn der refraktometrischen Untersuchung einmal, ohne das Objekt für letztere zu schädigen, nicht gut ausführbar, angesichts ihres ausnahmslosen Auftretens bei so alten, nicht cataractösen Linsen ja aber auch völlig entbehrlich war. An anderen menschlichen Linsen konnte ich mit dieser Methode eine derartige, für das Instrument fühlbare, deutliche Abstufung in der Dichte einzelner Schichten nicht beobachten; hiermit soll aber nicht gesagt werden, daß dies nicht möglich ist. Mein Material, namentlich von ganz alten Personen, war eben beschränkt.

Fig. III.

Jedenfalls glaube ich meinem Befunde immerhin einen gewissen Wert beimessen zu dürfen, weil das Phänomen des schichtenweisen Konsistenzunterschiedes zu auffällig war, um selbst bei dieser, ja durchaus nicht fein zu nennenden Methode, im Zusammenhange mit der Heß'schen Entdeckung der physiologischen Kernbilder, in seiner Bedeutung unterschätzt zu werden.

Halben hat mit seinem Refraktometer (1905) dieses ungleichmäßige Ansteigen der Indicialkurve bereits beobachtet. Es wird hierauf im Zusammenhange mit eigenen Untersuchungen zurückgekommen werden.

Vorher möge indessen noch der Rest meiner mit dem Abbeschen Instrument gemachten Bestimmungen besprochen werden.

Ich komme hierbei nunmehr zu der wichtigen Frage, wie sich der Index des Kernzentrums der Linse in den verschiedenen Lebensaltern verhält.

Zur Bestimmung dieser Indices wurden dieselben Linsen verwandt, die zur Feststellung der Oberflächenwerte gedient hatten. Zur leichteren Vergleichung tragen die Linsen der Tabellen I, III und VI korrespondierende Nummern.

Tabelle VI.

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index des Kernzentrums	Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort	Index des Kernzentrums
	Schwein.				Schwein.		
1a	3 Wochen	½	1,41 56 5	12a	1½ Jahre	1½	1,42 94
1b	„	1	1,42 17	12b	„	2½	1,43 37 3
2	2 Monate	1½	1,42 76 6	13a	2½ Jahre	2½	1,43 81 3
3a	½ Jahr	3	1,42 92 5	13b	„	3	1,43 48 3
3b	„	2	1,42 94 5	14a	3 Jahre	7	1,43 35
4a	„	1	1,43 11 5	14b	„	7½	1,43 65
4b	„	1½	1,42 96 8	15a	„	7	1,43 70 5
5a	„	3	1,42 87 3	15b	„	7½	1,44 26
5b	„	21½	1,43 15	16a	3–4 Jahre	9	1,43 47 2
6a	„	½	1,43 08 0	16b	„	26	1,43 44 5
6b	„	6	1,43 05 6	17a	5 Jahre	7	1,44 79 2
7a	¾ Jahre	6½	1,42 57	17b	„	7½	1,44 76 3
7b	„	7½	1,42 84 7				
8a	„	1½	1,43 35 2				
8b	„	2½	1,43 25		Schaf.		
9a	¾–1 Jahr	5	1,43 48 7	1a	3–5 Wochen	6	1,43 32 5
9b	„	6½	1,43 43 7	1b	„	6½	1,43 33
10a	1 Jahr	8½	1,43 15 5	2a	1 Monat	½	1,42 85 0
10b	„	26	1,42 87 2	2b	„	1	1,42 91
11	1½ Jahre	3½	1,43 34 6	3	2 Monate	3	1,42 38 3

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index des Kern-zentrums
	Schaf.		
4	1½ Jahre	3	1.43 81
5a	„	7	1,44 4
5b	„	7½	1,44 35 5
6a	5 Jahre	24	1,45 80
6b	„	24½	1.45 70
7a	6½ Jahre	4	1.45 63
7b	„	4½	1,45 53
8a	8 Jahre	5	1,45 57 5
8b	„	5½	1,45 39
	Ziege.		
1a	3 Wochen	1½	1,42 77 7
2	„	½	1,43 04 2
3a	½ Jahr	3	1,44 20
3b	„	3½	1,44 54
4a	1½ Jahre	4	1,44 36
4b	„	4½	1,44 16 5
5a	„	3½	1,44 39 5
5b	„	4	1,44 38 3
6	5 Jahre	3	1,44 94 7
7	„	4	1,44 86
8	6 Jahre	8	1,45 86 2
9	7 Jahre	4½	1,45 51 5
	Rind.		
1a	Kalb, kurz vor Geburt	6	1,42 81 5
1b	„	9	1,42 51 2
2a	3 Wochen	2½	1,43 40 5
2b	„	3	1,42 57 2
3a	„	3	1,43 16 2
3b	„	3½	1,43 43
4a	3—5 Wochen	½	1,43 17 8
4b	„	1½	1,42 96 6
5a	4—6 Wochen	2	1,42 98 3
5b	„	3	1,42 91 5
6a	4—5 Wochen	½	1,43 39 2
6b	„	1½	1,43 07 7
7a	„	2½	1,43 40
7b	„	4	1,43 19 2

Lfd. Nr.	Alter	Stunden post mort.	Index des Kern-zentrums
	Rind.		
8	1 Jahr	2	1,44 39 8
9a	„	½	1,45 26 2
9b	„	1½	1,44 44 7
10a	„	1½	1,45 04 6
10b	„	3	1,44 78 6
11	1—2 Jahre	4	1,44 77 6
13	2—3 Jahre	4	1,44 18 2
14	2½—3 Jahre	2	1,45 17 6
15	3 Jahre	1	1,44 84 7
16	3—4 Jahre	1½	1,44 63 8
17a	4—5 Jahre	2	1,45 32 5
17b	„	2½	1,45 52 2
18a	6—7 Jahre	2	1,45 16 3
18b	„	3	1,44 80
19a	„	4½	1,45 28 5
19b	„	5½	1,45 81 3
21	9—10 Jahre	½	1.45 97 3
22a	12—14 Jahre	2½	1,45 75 3
22b	„	8	1,46 00 5
23a	16—18 Jahre	½	1,46 20 3
23b	„	1	1,46 28
	Pferd.		
1a	9 Monat	8	1,43 27 3
1b	„	8½	1,43 14 3
2a	1½ Jahre	½	1,42 70 5
2b	„	1	1,42 51
3a	2 Jahre	4	1,43 46 3
3b	„	4½	1,43 34
4a	8 Jahre	3	1,43 90 2
4b	„	3½	1,43 86 6
5	14 Jahre	2	1,44 67 5
6a	15 Jahre	½	1,44 32 2
6b	„	1	1,44 33 3
7a	„	½	1,44 75 6
7b	„	1½	1,45 00
8	ca. 16 Jahre	2	1,44 03 4
9	ca. 20 Jahre	4½	1,44 32 6
10	„	8	1,44 19 5
11a	23 Jahre	10	1,44 69 3
11b	Rassepferd	10½	1,44 46

Lfd. Nr.	Alter	Geschlecht	Stunden post. mort.	Index des Kern-zentrums	Lfd. Nr.	Alter	Geschlecht	Stunden post. mort.	Index des Kern-zentrums
	Mensch.					**Mensch.**			
	Fötus				13a	37 Jahre	m.	50	1,41 03 6
1a	9 Mon.	?	5½	1,40 05 5	13b	„	m.	50	1,41 05 2
1b	„	?	7	1,39 93 2	14a	41 Jahre	w	16	1,41 03 6
2a	Neugeb.	w.	8	1,40 28 2	14b	„	w.	16½	1,41 03 3
2b	„	w.	8½	1,40 11	15a	„	m.	16	1,41 17 5
3a	„	?	22	1,40 04 7	16a	45 Jahre	m	20	1,40 81 3
3b	„	?	22	1,40 04 6	16b	„	m.	20	1,40 74
4a	„	m.	27	1,40 73 6	17a	48 Jahre	w.	36	1,40 82 2
4b	„	m.	27	1,40 18	17b	„	w.	36	1,40 84 5
5a	„	w.	9	1,40 64 3	18	„	m.	35	1,40 94
5b	„	w.	9½	1,40 53 5	19a	49 Jahre	m.	60-70	1,40 74
6a	3 Jahre	w.	24	1,40 21 5	19b	„	m.	60-70	1,40 39 2
6b	„	w.	24	1,41 26 5	20a	51 Jahre	m.	17	1,40 97 5
7	10 Jahre	w.	19	1,40 48	20b	„	m.	17	1,40 95 6
8a	16 Jahre	m.	7½	1,40 91 6	21a	53 Jahre	m.	33	1,41 06 8
8b	„	m.	8	1,41 00	21b	„	m	33	1,41 07 5
9a	21 Jahre	m.	30	1,40 66	25	60 Jahre	m.	¼ h	1,41 23 7
9b	„	m.	30	1,40 78	22a	61 Jahre	m.	18	1,41 37
10a	28 Jahre	m.	40	1,40 93 6	22b	„	m.	18	1,41 36
10b	„	m.	40	1,40 73 3	23	74 Jahre	w.	13	1,40 92
11a	„	w.	32	1,40 88	24	80 Jahre	m.	7	1,40 52 5
11b	„	w.	32	1,40 89 5					
12a	29 Jahre	w.	11	1,41 04 6					
12b	„	w.	11½	1,40 93 5					

Faßt man diese mit dem Abbe'schen Instrument gewonnenen Ergebnisse zunächst einmal für sich zusammen, so kann meines Erachtens an einem deutlichen Ansteigen des Kernindex bei allen untersuchten Tieren mit zunehmendem Alter ferner nicht mehr gezweifelt werden. Hieran ändern auch die ja nicht geringen Schwankungen in einzelnen Fällen nichts, waren doch auch bei den beiden Linsen desselben Individuums nicht selten ziemliche Unterschiede vorhanden.

Das Minimum des Kernindex lag bei allen Tieren in der Nähe von 1,42. Größer waren die Abweichungen im Alter; doch hing das

wohl zum Teil damit zusammen, daß die Tiere normalerweise überhaupt nicht alle das gleiche Lebensalter erreichen, zum Teil an der Unmöglichkeit, von allen Spezies Augen der höchsten Altersstufe zu bekommen, weil ja unsere Haustiere in der Mehrzahl vorher geschlachtet werden. Am schwersten waren die Linsen alter Schweine zu haben; so stammt bei ihnen der höchste Kernindex, der unter denen der anderen Tiere bleibt, von einem 5 jährigen Mutterschwein. Nachstehend die gefundenen Minimal- und Maximalwerte:

Tabelle VII.

Tier	Alter	niedrigster Kernindex	Alter	höchster Kernindex
Schwein	3 Wochen	1,41 56 5	5 Jahre	1,44 79 2
Schaf	2 Monate	1,42 38 3	„	1,45 80
Ziege	3 Wochen	1,42 77 7	6 Jahre	1,45 86 2
Rind	kurz vor Geburt	1,42 51 2	16—18 Jahre	1,46 28
Pferd	1½ Jahr	1,42 51	15 Jahre	1,45 00

Verglichen mit den Ergebnissen früherer Untersucher zeigt sich genügende Übereinstimmung; die meisten der bisherigen Zahlen liegen zwischen den meinigen. Die für das Schaf von Matthiessen und Meyer angegebenen müssen wohl von alten Tieren herrühren, ebenso die Matthiessens und Mönnichs vom Rinde.

Ist also an einer erheblichen Zunahme des Kernindex, andererseits aber an einer nur geringen Änderung der brechenden Kraft der Rinde bei den Haustieren nicht zu zweifeln, so ist der Beweis geliefert, daß der Unterschied der Indices von Kernzentrum und Rinde mit zunehmendem Alter ansteigt.

Wenn ich erst jetzt auf das Verhalten des Kernindex beim Menschen komme, so hängt dies damit zusammen, daß die hier zu erhebenden Befunde an und für sich ein besonderes Interesse beanspruchen können und daß sie in mancher Hinsicht von denen bei Tieren abweichen.

Die Indices sind beim Menschen bedeutend niedriger als bei den Tieren. Im ganzen decken sich meine Zahlen mit denen der anderen neueren Beobachter nach Woinow, der selbst noch wesentlich höhere Werte bekam.

Vergleicht man in der Tabelle VI die bei kleinen Kindern eruierten Indices des Kernzentrums mit denen alter Leute, so ist der Unterschied nicht sehr in die Augen fallend. Allerdings wurde in späteren Jahren niemals die bei einem Neugeborenen gefundene niedrige Zahl 1,4004 oder bei einem 9monatlichen Fötus gemessene 1,3993 wieder beobachtet, aber immerhin überschritten die Indices auch in höheren Jahren selten den Wert 1,41; der höchste mit 1,4137 stammte von einem 61jährigen. Bei noch älteren fand ich wieder niedrigere Zahlen, allerdings kamen nur noch 2 Linsen aus den höchsten Lebensjahren zur Untersuchung. Andererseits wurde bei der einen Linse eines 3jährigen Kindes der hohe Kernindex 1,4126 und einem 49jährigen Manne der niedere Wert 1,4039 gefunden. Alles in allem ist die Zunahme der Differenz zwischen Rinde und Kernzentrum mit zunehmendem Alter viel weniger gleichmäßig und vor allem viel geringer als bei Tieren. Vorhanden ist sie aber, wie schon ein Vergleich der 10 jüngsten und 11 ältesten Linsen ergibt.

Tabelle VIII.

Mensch	Mittelwerte der Indices des Kernzentrums.
11 älteste Linsen . . .	1,40 96 5
10 jüngste Linsen . . .	1,40 25 6
Differenz	0,00 70 9

Auf jeden Fall dürften meine Untersuchungen menschlicher Linsen das, worauf durch Auffindung der physiologischen Kernbilder bereits mit Sicherheit hingewiesen wurde, nun auch zahlenmäßig dartun, daß nämlich die Linse im Alter keinesfalls homogener wird und daß somit die dahin gehende Anschauung von Donders und anderen nicht mehr länger aufrecht zu erhalten ist.

So viel Interesse auch die Kenntnis der Gründe, die das von Tieren abweichende Verhalten der menschlichen Linse bedingen könnten, hätte, so versagt sich ein näheres Eingehen hierauf doch schon deshalb, weil wir vorerst nur auf Vermutungen angewiesen sind. Es kann ja angenommen werden, daß die Ernährung bezw. Flüssigkeitsversorgung der innersten Teile der Linse umso schwieriger wird, je dicker die Linse

ist, daß demnach bei großen Linsendurchmessern der Brechungsindex des Kernes infolge geringeren Wassergehaltes höhere Werte erreicht. Vergleicht man nun die Maße der tierischen und menschlichen Linse, so ergibt sich, daß der kleinste Durchmesser der menschlichen viel geringer ist als der aller Haustiere. Im Anhange der Arbeit wird über an Schweine- und Rinderlinsen vorgenommene Messungen berichtet werden, hier sei nur so viel vorweg genommen, daß die Linse von ½jährigen Schweinen bereits 7 mm dick ist, die von Kälbern 8—9 mm, von jungen Ziegen 6—6½ mm; dagegen beträgt die Dicke beim Menschen durchschnittlich nur 3—5 mm. Ob dieser Umstand auf die fraglichen Verhältnisse wirklich von Einfluß ist, wage ich nicht mit Sicherheit zu entscheiden.

Die Erhöhung des Kernindex bei gleichbleibendem Brechungsvermögen der Rindensubstanz muß natürlich auch den Totalindex erhöhen und somit die Brennweite der Linse verringern. Es wäre demnach bei Tieren und in geringerem Grade auch bei Menschen in höheren Jahren ein mehr oder weniger hoher Grad von Linsenmyopie zu erwarten. Letztere kommt beim Menschen aber nur ausnahmsweise zur Beobachtung; die betreffenden Fälle sind als „Linse mit doppeltem Brennpunkt“ (v. Szili (97), „falscher Lenticonus“ (Demicheri (81), „Scheinkatarakt“ (Halben (96) und unter anderen Namen (Critchett (31), Doyne (67), Knaggs (74), Guttmann (91, 93), Cohn (95) in der Literatur niedergelegt und in ihren ausgesprochenen Formen sicher als pathologisch anzusehen, während allerdings geringere Grade etwas häufiger zu finden sind. Näher kann hierauf nur an anderer Stelle eingegangen werden.

Als Regel kann beim Menschen jedenfalls eine jenseits der 50er Jahre auftretende geringe Hypermetropie vorher emmetropischer Augen angesehen werden. Da aber die Teilindices der menschlichen Linse sich keinesfalls in dem Sinne verändern, daß hierdurch der Totalindex erniedrigt würde, so müssen andere Ursachen die Herabsetzung des letzteren, d. h. eine Vergrößerung der Linsenbrennweite herbeiführen.

Es kann hier nur ganz kurz darauf eingegangen werden. Schon Petit (7) stellte 1730 mit einer allerdings noch etwas primitiven Methode fest, daß die Wölbung der vorderen Linsenfläche mit zunehmendem Alter geringer werde. Dies wurde später mehrfach bestätigt. In neuerer Zeit maß Bertin-Sans (78, 79) die Ober-

flächenkrümmung von Tierlinsen verschiedenen Alters mit dem Helmholtz'schen Ophthalmometer; seine Ergebnisse waren:

Tier	Linsenradius in mm	
	Vorderfläche	Hinterfläche
Kalb, 2 Monate	11.7	8,5
„ „ „	11.3	8,4
„ „ „	12,1	8,3
Kuh, 6 Jahre	15,9	11
„ „ „	15,9	10
„ „ „	15,2	10.5
Lamm, 2 Monate	8,4	5,7
„ „ „	7,9	6
„ „ „	8,6	6 3
Hammel, 3 Jahre	11.6	8,5
„ „ „	12.4	7,8
„ „ „	12.3	8,6

Die Krümmungsradien zeigten also bei älteren Tieren eine nicht unwesentliche Zunahme, die Bertin-Sans denn auch als Ausgleich gegenüber der Indexerhöhung ansprach. Beim Menschen fand Holth (92) die Linsenflächen des Neugeborenen viel stärker gewölbt als beim Erwachsenen. Heß (102) vermutet (S. 14), daß „die erworbene Hypermetropie des höheren Alters zum Teile wenigstens auf die Abflachung der Linsenvorderfläche zu beziehen" sei, es fehlten uns aber „noch genügend zahlreiche Messungen über den Linsenradius im Pupillargebiete in verschiedenen Lebensaltern." Das in der Mitte der Linsenvorderfläche entworfene Bild einer Lichtquelle" sei verhältnismäßig klein und nehme auch bei alten Leuten nach der Peripherie hin rasch an Größe zu." Ich konnte mich hiervon ebenfalls überzeugen. Aus all diesen und den im übrigen noch vielfach differierenden Ergebnissen aller anderen Untersucher folgt, daß die Krümmungsverhältnisse der Linse in verschiedenen Lebensaltern bei Mensch und Tier nicht weniger Aufmerksamkeit verdienen als die Veränderungen der Brechungsindices. Es wäre zu hoffen, daß sich das Interesse der Fachgenossen dieser Frage erneut zuwendete.

Nun zu den Untersuchungen innerer Linsenschichten mit dem verbesserten Refraktometer nach Halben (Indicialkurve).

Die Untersuchungen Matthiessens, Moennichs und anderer Beobachter über den Verlauf der Indicialkurve stehen bekanntlich im Widerspruche mit manchen neueren Beobachtungen. Wollte ich dieser Frage nähertreten, so war, wenn irgend möglich, eine Methode zu wählen, die derjenigen der früheren Beobachter, seit deren Untersuchungen ja auch bereits eine beträchtliche Zeit verstrichen ist, womöglich überlegen war. Es soll hiermit den teilweise außerordentlich sorgfältigen früheren Arbeiten (z. B. Moennichs) durchaus nicht zu nahe getreten werden, aber es handelt sich dabei doch immer um den gewöhnlichen Abbe'schen Apparat, dessen Mängel sich für die Untersuchung optisch inhomogener Medien um so mehr geltend machen müssen, je genauer es auf kleine Unterschiede, wie gerade bei dem sukzessiven Wachstum der Brechungsindices von außen nach innen, ankommt. Es war deshalb in erster Linie eine Verbesserung des Apparates ein dringendes Bedürfnis.

Bekanntlich demonstrierte Halben 1905 in Heidelberg eine auf Instrumenten von Czapski und Pulfrich fußende Modifikation des Abbe'schen Refraktometers, die es ermöglichen sollte, den Brechungsindex jeder beliebigen Stelle eines Linsenhalbierungsschnittes abzulesen und so genaue Indexdiagramme bezw. Indicialkurven aufzustellen. Die Halben'sche Mitteilung war geeignet, wenigstens bei dem kleinen Kreise derer, die sich für das Spezialgebiet der Linsenindexforschung interessieren, ein gewisses Aufsehen zu erregen. In der Tat ist es ja sozusagen das Ideal aller, eine Methode zu besitzen, die die Indices in ihrer natürlichen Verteilung nahezu mühelos festzustellen und hierdurch in dieses noch unsichere und umstrittene Gebiet der Dioptrik Klarheit und Einigkeit zu bringen gestattet.

Was aber den sonst gewiß berechtigten Enthusiasmus für die neue Methode einigermaßen dämpfen mußte, war zunächst der Umstand, daß Halben selbst von dem Instrumente sagte, daß es nur „im Prinzip" die oben gestellten Anforderungen erfüllt. Das will natürlich von einem Instrumente, das nur durch praktische Ergebnisse damit seinen Wert beweist, noch nicht viel mehr sagen als die Erweckung einer Hoffnung. Immerhin waren doch schon einige Messungen von Halben ausgeführt worden, denen zufolge er sicher sagen zu können glaubte,

> daß die Gesamtamplitude der Indices eines Linsenindividuums häufig überraschend groß ist, insofern oft der Index peripherster

Rinde viel niedriger, der zentralster Kernsubstanz viel höher als bisher meist angegeben, gefunden wird;

und weiter,

daß die Indicialkurve in den meisten Fällen jedenfalls nicht dem regelmäßigen Parabelscheitel Matthiessens entspricht, sondern an der Vorder- und Hinterkerngrenze zu streckenweise steilerem Anstieg übergeht, wie das inzwischen ja auch von Heß aus den Reflexbildchen einer leuchtenden Linie erschlossen ist und wie es schon aus dem Bestehen eines Kernreflexes überhaupt zu erwarten war.

Im übrigen sagte Halben, daß sein mit dieser Methode genau untersuchtes Material ihm noch nicht genüge, um schon ausführliche Ergebnisse zu veröffentlichen.

Auch bis jetzt (Juli 1908) hat Halben nichts weiter mitgeteilt.

Die der Publikation aus dem Jahre 1905 beigegebenen Indexdiagramme und Kurven sind, wie Halben selbst hinzufügte, schematisch, gestatten daher nicht, die in ihnen niedergelegten Zahlen durchgängig als Wirklichkeitswerte aufzufassen.

Für jeden, der sich selbst mit der Materie befaßt hatte, ergab sich nun von vornherein eine Reihe von Einwendungen gegen die Halben'sche Modifikation des Instruments; diese wurden in ihrer Bedeutung in der Folge unterstützt durch das Ausbleiben weiterer mit dem Apparat gewonnenen Ergebnisse. So mußte ich auch der Sache etwas skeptisch gegenüberstehen. Für meine Untersuchungen oberflächlicher Linsenschichten, für die ich mir von der Verwendung des Halben'schen Apparates am wenigsten versprach, wählte ich deshalb auf alle Fälle das gewöhnliche Abbe'sche Refraktometer; es zeigte sich, als ich später dem Halben'schen nähertrat, daß ich damit recht getan hatte. Es wird hierauf zurückzukommen sein.

Indessen durfte ich, wenigstens sofern ich meine Untersuchungen auch auf die umstrittene Indicialcurve ausdehnen wollte, doch wohl nicht an dem neuen Instrumente vorbeigehen, da man mit der alten Methode eben nicht wesentlich viel weiter kommen konnte. Ferner bestand die Aussicht, durch nähere Beschäftigung mit dem Apparate, selbst wenn er sich nicht bewähren sollte, Gesichtspunkte für weitere Vervollkommnung desselben zu gewinnen. Drittens aber war schon deshalb eine Erprobung wünschenswert, weil Halben in seiner kurzen Mitteilung gesagt hatte, daß die Schwankungsbreite der Indices

häufig überraschend groß sei, und weil Halben namentlich für das Kernzentrum der menschlichen Linse erheblich höhere Werte als die anderen neueren Beobachter erhalten hatte.

Bevor ich auf meine eigenen Untersuchungen mit dem Halbenschen Refraktometer näher eingehe, wird es unerläßlich sein, das verbesserte Instrument näher zu schildern. Ich lasse daher Halben selbst das Wort. Er sagt (Heidelb. Ber. 1905):

> Statt irgendwelcher Isolierung einzelner Stellen des Objektschnittes selbst bewerkstellige ich die gewünschte Isolation durch Herausblendung aus dem in der Austrittspupille des Apparates entworfenen reellen Bilde des Objekts.
>
> Einmal vereinigt das Objektiv die parallelen Bündel der Grenzstrahlen der Totalreflexion hier in der Ebene gg (Fig. 1) zu scharfer Grenzlinie, die dann durch das Okular als Lupe betrachtet wird; zweitens entwirft aber das aus Objektiv und Okular zusammengesetzte System von dem der Prismenfläche aufliegenden Objekt ein reelles Bild hier in der Austrittspupille pp.
>
> Nach den grundlegenden Ausführungen Abbes über die Strahlenbegrenzung in optischen Instrumenten ist es für den Endeffekt gleichgültig, in welchem von mehreren konjugierten Querschnitten eines optischen Systems irgend welche Abblendung vorgenommen wird.
>
> Durch Abblendung im reellen Bilde irgend eines Objektes schließe ich alle die Strahlen von jeglicher weiterer Wirksamkeit aus, welche andere Objektteile als die im Blendenloch sichtbaren getroffen haben. Es genügt also, den Tubus eines Abbeschen Refraktometers bis in die Austrittspupille verlängern zu lassen und in dieser eine in einem rechtwinkligen Koordinatensystem allseitig verschiebliche Blende anzubringen. In der Austrittspupille sehe ich aus Leseabstand ein reelles umgekehrtes Bild des Linsenschnittes schweben. Die Lage dieses Schnittes im Koordinatensystem zeichne ich im Untersuchungsprotokoll in Millimeterpapier ein. Meine Blende bringe ich dann von halbem zu halbem Millimeter fortschreitend der Reihe nach an einander folgende Punkte gewünschter Objektdurchmesser und trage die zugehörigen Indexwerte in mein Schema ein (Fig. 2). Auf diese Weise erhalte ich die genauen Indicialkurven nicht nur für die Hauptaxe der Linse, sondern

für alle beliebigen mich interessierenden Schnittlinien der Halbierungsebene (Fig. 3 und 4).

Eine andere diese kontrollierende Methode geht so vor, daß ich mit meiner Blende das Beobachtungsfeld nach der Stelle des höchsten und niedrigsten Index absuche, diese Stellen in mein Schema eintrage und dann beliebige zwischen diesen Werten liegende Isoindicialzonen durch Absuchen mit der Blende umgrenze (Fig. 5).

Die beiden Verfahren erläutern die hier abgebildeten schematischen Figuren (Fig. 2, 3, 4 und 5).

Zur Kritik dieser Methode lasse ich die Frage nach der Gewinnung einwandfreier Linsenhalbierungsschnitte, wie sie ja erforderlich sind, sowie die nach der Möglichkeit, sie in geeigneter Weise in den Apparat zu bringen, zunächst ganz unerörtert. Vorerst möge einmal angenommen werden, daß die Hälfte einer tadellos längs der Axe halbierten Linse dem Prisma des Apparates vollständig anliege. Es sei also zunächst von dem Apparat selbst die Rede.

Hierbei kommt in Betracht, daß die Seite des Prismas, das zur Aufnahme des Objektes bestimmt ist, ein Rechteck von ca. 12 : 28 mm Seitenlänge darstellt. Es ist somit selbstverständlich, daß hierauf vollständig nur solche Linsen Platz finden können, die in keinem Durchmesser diese Werte überschreiten, wodurch das Instrument bei vergleichenden Untersuchungen unter Umständen unzulänglich würde.

Diese untere Objektseite (Hypotenuse) des Prismas wird nun von oben her durch die kürzeste, fast quadratische (12 : 14 mm) Seite des Prismas betrachtet und erscheint, perspektivisch verkürzt, auch fast quadratisch, wenn man aus einiger Entfernung vom Apparate durch das der beweglichen Blende beraubte Okular blickt. Diese durch das Okular betrachtete Fläche nun wird von unten (d. h. von der dem Beobachter zugewendeten Seite) her verkürzt, je nach der Stellung, welche die Alhydade und das mit ihr fest verbundene Objektprisma einnimmt. Wenn die Alhydade ganz auf 1,3 zurückgestellt ist, so beschränkt die obere, den rechten Winkel des Prismas begrenzende Kante das Gesichtsfeld von unten her. Je weiter man die Alhydade vorschiebt, desto mehr weicht diese Grenzlinie zurück, an ihre Stelle tritt jedoch bei noch weiterem Vorschieben der Alhydade eine andere, die durch die hintere Kante der Objektfläche gebildet wird (von ca. 1,45 an).

Wenn man die Indexablesungen in ein Koordinatensystem einzeichnen soll, so ist erforderlich, daß die am Okular angebrachte Millimetereinteilung unbeweglich sei. Sie dreht sich aber in höchst unerwünschter Weise mit dem Okular leicht im Tubus herum und macht dann natürlich eine Ortsbestimmung an dem Objekt ungenau. Die quadratische Okularöffnung mit der Teilung in Millimeter muß ein für allemal so stehen, daß die Seiten parallel bezw. rechtwinklig zum Tischrand stehen, sofern der Beobachter gerade vor dem Tische sitzt. Ferner muß das an der beweglichen Blende angebrachte Koordinatensystem bei allen Stellungen der Blendenöffnung ebenfalls parallel bezw. rechtwinklig zur vorderen Kante des Tisches verlaufen. Dies wäre z. B. durch ein kleines Zahnstangenwerk bezw. eine genaue Führung der Blende zu erreichen gewesen; mangels einer solchen bewegt sich aber die Platte, welche die Blendenöffnung und das Koordinatensystem trägt, sehr leicht nach allen Richtungen in dem Spalte des Okulars hin und her, wenn auch stets in einer der Okularöffnung parallelen Ebene. Es erfordert Übung, die Platte so herumzuführen, daß die Koordinaten wohl ihre Lage, nicht aber ihre Richtung nennenswert verändern und ist auch bei größter Übung mit freier Hand immer nur annähernd genau zu erreichen. Hierdurch ist es also ganz bedeutend erschwert, die Blendenöffnung um wirklich ganz gleiche Streckenteilchen auf derselben Geraden fortzubewegen, wie es doch notwendig ist, wenn man Indexmessungen längs der Axe oder des Querdurchmessers des Linsenschnittes in genau gleichen Abständen voneinander ausführen will; es läßt sich nicht vermeiden, daß die einzelnen Strecken um mehr oder minder große Bruchteile eines Millimeters differieren. Diese Ungenauigkeit wird noch dadurch unterstützt, daß die weiß auf schwarz eingeritzten Koordinaten und die Millimeterteilung verhältnismäßig dicke Linien darstellen. Die wünschenswerte Genauigkeit der Einstellung der Blendenöffnung wäre außer durch ein Triebwerk mit Mikrometerschraube nur dadurch zu erreichen, daß die sehr fein zu wählende Teilung bei der Einstellung der Koordinaten, nach Analogie der Alhydade, durch eine an einem drehbaren Hebel befestigte Lupe betrachtet werden könnte, die, um das spätere Durchblicken durch den Tubus nicht zu vereiteln, nach Gebrauch zur Seite geschoben werden könnte. Die feinere Teilung und die Hilfslupe würden auch ermöglichen, Bruchteile ($\frac{1}{2}$ oder gar $\frac{1}{4}$) eins Millimeters genau einzustellen, während bei der jetzigen Anordnung nur mit dem Augen-

maß annähernd auf ½ mm eingestellt werden kann, was natürlich viel zu ungenau ist. Die Abstände von einem ganzen Millimeter sind, namentlich bei kleinen Linsen, viel zu groß, als daß sie zur Aufstellung einer ganzen Indicialkurve völlig genügen könnten.

Nun zur Blendenöffnung selbst. Der Apparat soll die Forderung erfüllen, daß man den Brechungsindex an jeder beliebigen Stelle des Linsenschnittes ablesen kann. Nun kann aber eine solche Stelle nur theoretisch keine nennenswerte Ausdehnung haben, denn praktisch läßt sich die Blende kaum kleiner als es jetzt der Fall ist (ca. ½ mm) machen, da außer anderen Bedenken auch schon die Helligkeit des Gesichtsfeldes und damit die Möglichkeit, die hellere von der dunkleren Hälfte zu unterscheiden, zu sehr leiden würde. Es treffen somit immer noch alle Strahlen, die von einem kreisförmigen Bezirk des Objekts von ½ mm Durchmesser herkommen, das Auge des Beobachters. Ob also die Grenzlinie nunmehr scharf erscheint, wird davon abhängen, ob innerhalb dieses verhältnismäßig großen Bezirkes (man bedenke, daß dieser durchschnittlich $^1/_8$ der Dicke einer menschlichen Linse beträgt) optisch homogene Substanz vorhanden ist oder nicht. Häufig ist das nicht der Fall, und nun steht man vor derselben Kalamität, wie bei dem einfachen Abbe'schen Refraktometer, das doch schon bei Objekten von ca. 1 mm Durchmesser Ablesungen gestattet. Immerhin ist die Grenzlinie jetzt durchschnittlich doch nicht unwesentlich schärfer als früher, öfters sogar ganz scharf; also gewiß eine Verbesserung.

Zur Würdigung der Leistungsfähigkeit des Apparates kommt weiter in Betracht, daß das durch das Okular als Lupe betrachtete Bild des Objektes nicht die natürliche Größe hat, es ist verkleinert. Dem müßte durch korrespondierende Verkleinerung der Millimetereinteilung Rücksicht getragen werden, damit eine Verschiebung der Blende um einen Teilstrich auch wirklich einer gleichen Strecke am Objekte entspräche. Noch weiter: Das Bild des Objektes ist verzerrt; der Durchmesser von vorn nach hinten ist vermöge der perspektivischen Verkürzung, die sich durch die schräge Stellung der Prismenhypotenuse ergibt, stärker verkleinert als der Durchmesser von rechts nach links. Der jenem entsprechende Maßstab müßte also in kleinerem Verhältnis gehalten sein als der des letzteren.

Man macht also an einem Durchmesser des Objekts gar nicht Messungen in Abständen von 1 oder ½ mm, sondern in kleineren, nicht genau festgestellten Abständen und in 2 aufeinander senkrechten

Durchmessern dazu noch in verschiedenen Abständen. Es ist klar, daß das, was man so nachher als Indexdiagramm der Linsenhalbierungsfläche vor sich hat, durchaus nicht völlig den an ein solches zu stellenden Anforderungen entspricht.

Zu diesen Mängeln in der Konstruktion des Apparates selbst gesellen sich nun noch bedeutende Schwierigkeiten bei der praktischen Anwendung. Soll das Instrument wesentlich mehr leisten als das A b b e'sche Refraktometer, sollen also Ablesungen am ganzen Linsenhalbierungsschnitte gemacht werden, so setzt dies natürlich voraus, daß es gelingt, solche Querschnitte herzustellen und in richtiger Weise in den Apparat zu bringen. Es wird nun wohl jeder, der sich praktisch mit Indexforschungen beschäftigt hat und die physikalischen Eigenschaften verschiedenartiger und -altriger Linsen genauer kennt, zugeben, daß dies von vornherein sehr schwierig erscheint.

Wenn man eine frische Linse auf einer harten Unterlage durchschneiden will, so wird man sofort einen großen Unterschied gegenüber einem mittelweichen Körper von gleichmäßiger Konsistenz, z. B. einem Stück Leber, bemerken. Zu äußerst ist bekanntlich die zwar dünne, aber recht zähe Kapsel vorhanden. Auch bei Verwendung eines sehr dünnen und äußerst scharfen Messers wird sie nicht etwa sofort bei sanftem Drucke durchschnitten, sondern sie gibt dem Drucke bis zu einem gewissen Spannungszustande nach, erst dann dringt das Messer hindurch. Schon jetzt ist also die Rinde auf jeden Fall gequetscht, die ganze Linse mehr oder weniger abgeflacht. Dies ist auch dann der Fall, wenn die Linse auf einer kleinen Aushöhlung, der sich die untere Seite einigermaßen anschmiegt, gelagert ist. Durch die Quetschung werden die Linsenmassen aus ihrer gegenseitigen Lage gebracht und können unmöglich mehr die normale Folge der Indices aufweisen. Je jünger das Tier, d. h. je weicher die Linsensubstanz ist, um so mangelhafter wird natürlich die Schnittfläche sein.

Man könnte nun daran denken, den störenden Einfluß der Kapsel durch ihre Entfernung vor dem Durchschneiden der Linse zu eliminieren. In dieser Weise ging ich auch in einigen Fällen vor, kam aber alsbald wieder davon zurück. Die Kapsel läßt sich eben fast niemals ohne Lädierung der obersten Rindenschicht entfernen. Mag diese Beschädigung auch in manchen Fällen nicht gar so schwer sein, so fehlt doch jede genauere Kontrolle darüber. Ohne Kapsel halbiert

sich indessen die Linse zweifellos wesentlich leichter, die Quetschung der obersten Schichten ist viel geringer, weil das Messer zuerst eine weiche Schicht trifft und erst dann einen größeren Widerstand findet, wenn es sich der weniger mobilen Kernsubstanz nähert. Allerdings bleibt die Quetschung der auf der festen Unterlage ruhenden Rindenschicht nach wie vor bestehen, ja die Deformation bezw. Substanzverdrängung ist mangels der das Ganze zusammenhaltenden Kapsel in dieser Gegend eher noch etwas größer.

Ich mußte deshalb nach mancherlei Versuchen mit den verschiedensten Messern, Unterlagen und Linsen daran verzweifeln, auf diese Weise einigermaßen einwandfreies Material zu bekommen. Eine Verbesserung war nur noch durch eine Methode, die die Linse als starres Gebilde betrachten konnte, denkbar. Obwohl ich dem Gefrierenlassen der Linsen, wie es von M o e n n i c h seinerzeit ausgeführt wurde, in Bezug auf Erhaltung normaler Indexverhältnisse etwas skeptischer als dieser geschätzte Autor gegenüberstand, blieb mir doch nicht recht wohl eine andere Wahl übrig, als einen Versuch damit zu machen.

Es ergab sich, daß so bei den meisten jüngeren Linsen leidliche Querschnitte zu erzielen waren. Indessen wurde das, was im Gegensatze zu den frischen Linsen als eine Tugend anzusprechen war, die fast gleichmäßige Härte der Linsen nämlich, häufig, namentlich bei alten Exemplaren, zum Fehler. Jeder weiß, wie schwer es ist, bei Halbierung eines Stückes Eis oder Zucker eine gleichmäßig glatte Schnittfläche, ohne Splitterung kleiner Teile, zu erzielen. Es ergab sich nun bald, daß die Linsen von alten Schlachttieren, namentlich im Zentrum, durch das Gefrieren so hart wurden, daß es kaum in einem Falle möglich war, eine völlig ebene, gleichsam spiegelnde Schnittfläche herzustellen, sei es nun, daß man das Messer unter langsamem Drucke, sei es unter stoßartiger Bewegung durch die Linsensubstanz führte. Auf beide Weisen ist zur Messerführung eine ziemlich große Gewaltanwendung nötig, durch welche, trotz des Gefrorenseins, eine Formveränderung der Linse im Sinne einer Abplattung zustande kommt. Durch diese werden die einzelnen Schichten in senkrechter Richtung zusammengepreßt, in wagrechter auseinandergedrängt. Am meisten leidet bei diesem Verfahren die äußerste Schicht, es sind selten ganz gute, nicht gequetschte, gesplitterte oder sonstwie nicht etwas beschädigte Ränder zu erhalten.

Um nun die eine Linsenhälfte mit ihrer Schnittfläche dem Prisma des Refraktometers genau anschmiegen zu können, ist es nötig, daß

diese Schnittfläche ganz eben ist. Nur dann sieht man, wenn man aus einiger Entfernung in den Tubus des Apparates hineinblickt, eine homogene ovale Fläche im Gesichtsfelde schweben. Jede kleinste Menge von Luft oder Flüssigkeit zwischen Prisma und Linse macht sich als Defekt bemerkbar, an dessen Platz im ersten Falle keine Ablesung gemacht werden kann, im zweiten Falle nur die eines erheblich niedrigeren Index, als an der betreffenden Stelle der Linse in Wirklichkeit in Betracht kommen kann. An solchen Punkten entsteht also im aufgezeichneten Diagramm oder in der Kurve der Linsenindices eine Lücke.

Die Mangelhaftigkeit der Resultate wird aber noch dadurch erhöht, daß es auf jeden Fall notwendig ist, die Linsenhälfte wenigstens leicht gegen das Prisma anzudrücken; bei nicht ganz ebener Schnittfläche muß unter Umständen sogar ein erheblicher Druck angewendet werden. Hierdurch entstehen wieder Quetschungen bezw. Verschiebungen in den Linsenschichten, besonders in den äußersten, weichsten. Dies ließe sich nun dadurch teilweise verhindern, daß man ein Auftauen der Linsen während des Andrückens durch Vornahme der Operation in einem Raume von höchstens 0° Wärme verhinderte. Abgesehen von der Schwierigkeit, einen solchen in allen Fällen herzustellen, würde aber gerade hierdurch das unbedingt nötige genaue Anschmiegen der Linse an das Prisma fast unmöglich gemacht werden. Es ist eben das Auftauen der Schnittfläche selbst durch Einwirkung der höheren Zimmertemperatur des Prismas aus obigem Grunde direkt wünschenswert. Lieber wird man noch, wenn man eine lückenlose Indexreihe haben will, auf die Vollständigkeit in Bezug auf die Länge, durch Nichtberücksichtigung der ungenauesten Werte für die oberflächlichste Schicht, verzichten, zumal die Oberflächenindices auch ganz leidlich genau mit Hilfe der Klümpchenentnahme, wie sie bisher von allen Untersuchern gehandhabt wurde, festgestellt werden können.

Es dürfte aus allem Vorhergegangenen erhellen, daß man auf die Genauigkeit der mit dem in Frage stehenden Apparat gewonnenen Indexdiagramme und Indicialkurven keine zu großen Hoffnungen setzen darf. Immerhin hielt ich mich für berechtigt, meine Ergebnisse in extenso mitzuteilen, teilweise, weil ich dennoch glaube, manche direkt verwertbare Zahlen festgestellt zu haben, teilweise damit spätere Untersucher aus meinen Erfahrungen Vorteile ziehen können.

Umfang der Untersuchungen.

Arbeitsmethode.

Der Umfang der vorzunehmenden Untersuchungen wurde selbstredend in erster Linie durch die Leistungsfähigkeit des Instrumentes begrenzt. Der Umstand, daß einmal die großen Tierlinsen auf dem Prisma des Apparates vielfach kaum zweckmäßig bezw. vollständig zu plazieren sind, ferner der Umstand, daß die Bestimmung der oberflächlichsten Indices überhaupt am ungenauesten ist, drängte dazu, von systematischer Untersuchung der letzteren abzusehen. Ich muß daher in dieser Beziehung auf das weiter oben hierüber mitgeteilte verweisen. Allerdings sind jene Messungen mit dem Abbe'schen Apparat, wie schon angedeutet, in Bezug auf den genaueren Verlauf der sogen. Oberflächenindicialkurve der Ergänzung bedürftig, und es wäre schön gewesen, wenn man gerade hier mit dem Halben'schen Instrumente hätte einsetzen können. Dies hätte jedoch vorausgesetzt, mit dem Apparate an der oberflächlichsten Linsenschicht in gleichen Abständen Indexablesungen machen zu können. Da nun aber die oberflächlichste Schicht fast stets nur lückenhafte oder ungenaue Ablesungen gestattet, so würde der angestrebte Zweck selbst dann nicht zu erreichen sein, wenn man äquidistante Punkte längs der Begrenzungslinie der Linse bestimmen könnte. Aber dies ist nicht möglich, weil die Begrenzungslinie des Linsenquerschnitts eine Kurve mit von Punkt zu Punkt wechselnder Krümmung darstellt. Hierbei versagt natürlich die Millimetereinteilung des rechtwinkligen Koordinatensystems vollkommen, zumal auch noch durch die Verzerrung des Objektbildes die natürliche Krümmung der Linsenoberfläche verändert erscheint. In einzelnen Fällen habe ich übrigens an einem beliebigen, zwischen Pol und Äquator gelegenen Punkte der Grenzlinie eines Linsenschnittes Ablesungen gemacht und zwar nur an solchen, wo ich aus dem für den Äquator bezw. Pol gefundenen Werte eine leidliche Intaktheit der oberflächlichen Schicht glaubte annehmen zu dürfen. Ich fand in diesen Fällen, gleichwie mit der alten Methode, jedesmal einen zwischen dem Index des Poles und des Äquators liegenden Wert.

Es war nach Ausschluß systematischer Untersuchung der Oberfläche sonach das eigentliche Arbeitsgebiet auf die Feststellung der

OPHTHALMIC HOSPITAL

Reihenfolge der Indices von außen nach innen beschränkt. Namentlich konnte der verbesserte Apparat eventuell über den mehr oder weniger stufenförmigen Verlauf der Indicialkurve Aufschlüsse, wenn auch nicht definitive Ergebnisse bringen.

Ich habe demnach von den untersuchten Indices Diagramme angelegt, welche die Werte längs des polaren und längs des äquatorialen Durchmessers der Linse in der Regel von halbem zu halbem Millimeter eingetragen enthalten. Der Kreuzungspunkt der beiden Durchmesser ist die Stelle des höchsten auffindbaren Index, das Kernzentrum. Von Einzeichnung der Linsenumrisse sah ich ab, da diese ja für die vorliegenden Untersuchungen belanglos sind. Es ist mit Hilfe des im Verhältnis zu den kleinen Objekten viel zu groben Maßstabes und Koordinatensystems zudem gar nicht möglich, die Linsenumrisse einigermaßen genau abzuzeichnen, auch ist das Bild ja von oben nach unten im Verhältnis zum Objekte selbst stark verkürzt.

Außer dem Diagramm wurden von jeder Linse auf Grund des ersteren zwei Indicialkurven, eine mit den Indices von Pol zu Pol und eine mit denen von Äquator zu Äquator entworfen und in ein gemeinsames Schema eingetragen.

So ist es möglich, die Anordnung der Indices, soweit der Apparat es leisten kann, leicht zu überblicken.

Von der Umgrenzung sogen. Isoindicialzonen mußte ich leider absehen; warum, brauche ich nach allem Gesagten nicht noch näher auszuführen.

Untersucht wurden auf diese Weise verschiedenaltrige Linsen von folgenden Tieren: Huhn, Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd, Hund, Affe und Mensch. Es waren somit 9 Tierspezies vertreten.

Es möge jetzt die Art der Untersuchung im einzelnen geschildert werden, wobei, um Wiederholungen zu vermeiden, nur auf das gegen die früheren Untersuchungen Abweichende näher eingegangen werden soll.

Läßt man eine Linse auf einer festen Unterlage gefrieren, so plattet sie sich nicht nur vermöge ihrer gallertigen Konsistenz ab, sondern sie friert auch meistens daran fest. Ein Festfrieren, wenn auch nicht völlig eine Gestaltsveränderung, läßt sich nun zwar auf die seinerzeit von M o e n n i c h geübte Weise vermeiden. Ebenso zweckmäßig zum mindesten schien es mir nun, die Linsen in oder auf einem

Medium gefrieren zu lassen, das die Linse nicht erheblich in ihrer Gestalt veränderte und nicht selbst mitgefror. Als solche Substanz bot sich das Quecksilber dar. Dieses in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften so eigenartige Metall erfüllt alle nötigen Voraussetzungen. Gießt man auf den Boden eines kleinen dünnwandigen Glasgefäßes eine 2—3 mm dicke Schicht Quecksilber und legt die frisch dem Bulbus entnommene, mit Wattestückchen abgetrocknete Linse vorsichtig und mit der vorderen (flacheren) Seite nach unten darauf, so weicht das Quecksilber seitlich aus und bildet eine der Linse sich genau anschmiegende Delle. Das hohe spezifische Gewicht des Quecksilbers läßt die Linse frei auf der Oberfläche schwimmen. Sein gutes Temperaturleitungsvermögen, das dasjenige des Glases und der Luft bei weitem übertrifft, beschleunigt den Gefrierungsprozeß. Sein tiefer als die Temperatur der gebräuchlichen Kältemischung liegender Gefrierpunkt verhindert, daß es gemeinsam mit der Linse und mit dieser zusammenfriert, die geringe Cohärenz seiner Teile zusammen mit ihrer Neigung, Kügelchenform anzunehmen, verhindert ein unerwünschtes Festhaften von Quecksilber an der gefrorenen Linse.

Auf diese Weise also lagerte ich die Linsen; das Glasnäpfchen wurde dann mit einem Deckel verschlossen.

Zum Gefrierenlassen benutzte ich anfänglich den Kohlensäureapparat eines Gefriermikrotoms, auf dessen Objektplatte das Glasnäpfchen gestellt wurde. Dies Verfahren war, da der Apparat zur Verfügung stand, sehr bequem und auch sehr reinlich. Kleinere Linsen gefroren damit in einigen Minuten; bei großen Linsen dauerte es aber doch ziemlich lange, bis die obersten Teile genügend fest waren. Ich ging deshalb zur Anwendung einer Eis-Kochsalz-Kältemischung über. Zur Aufnahme des Quecksilbers und der Linse wurde nun ein etwas höheres zylindrisches Gefäß genommen und vorsichtig in die ca. 15—20° kalte Mischung gestellt. Selbstredend war darauf zu achten, daß die Linse möglichst in der Mitte des Quecksilbers schwamm und nicht etwa an die Glaswandung anstieß, was ein sofortiges Anfrieren zur Folge gehabt hätte.

War die Linse völlig gefroren, so wurde sie vorsichtig mit einem Spatel auf eine feste hölzerne, etwas ausgehöhlte Unterlage übertragen und mit einem dünnen, aber festen, vorher abgekühlten Messer halbiert, wobei sie wieder auf der flacheren Seite lag. Zum Schneiden erwies

sich bei kleineren Linsen am vorteilhaftesten das Messer eines Rasierapparates (Marke Gillette). Dasselbe hatte außer großer Schärfe den Vorzug einer sehr dünnen Klinge. Zum Gebrauche wurde das Messer, das annähernd die Form eines Rechteckes hat, dessen längere Seiten zu Schneiden ausgebildet sind, mit einer Längsseite in den Spalt eines kleinen Holzstabes eingelassen. Es hatte jetzt ungefähr das Aussehen eines Holzschnitzmessers und konnte, wenn man mit jeder Hand ein Ende des Holzstabes festhielt, gut zum senkrechten Durchschneiden der Linse benutzt werden. Es zeigte sich jedoch, daß die Klinge für große (Rinds- und Pferde-)Linsen zu schwach war. Für diese mußte deshalb ein größeres dünnes Skalpell mit geradliniger Schneide genommen werden.

Es gelang auf eine der beiden Weisen bei den meisten kleineren und namentlich jüngeren Linsen, ziemlich glatte Schnittflächen zu erzielen, schlecht dagegen ging es bei alten Linsen, selbst wenn ich den Kunstgriff anwandte, sie hauptsächlich in den äußeren Schichten gefrieren zu lassen, damit der Kern nicht gar so hart wurde. Dies wurde durch vorsichtiges Umwenden der Linse auf dem Quecksilber erreicht, nachdem die Linse nur kurze Zeit auf der einen Seite gelegen hatte.

Auf die notwendigen Folgen einer nicht völlig ebenen Halbierungsfläche wurde bereits weiter oben hingewiesen.

Natürlich wurden zwei gleich große Hälften angestrebt. Indessen war das häufig nur annähernd zu erreichen; in diesem Falle wurde die etwas größere Hälfte verwandt. Linsen, die deutlich ungleiche Hälften lieferten, wurden gar nicht zur Untersuchung benutzt.

Die gewählte Hälfte wurde mit einer dünnen Nadel an einer von der Schnittfläche entfernt gelegenen Stelle angespießt und damit sogleich auf das Prisma des Refraktometers gebracht. Die paar Augenblicke von der Halbierung bis Lagerung auf dem Prisma reichten gerade hin, die Oberfläche der Schnittebene durch die Zimmertemperatur etwas zu erweichen, sodaß sie sich leichter dem Prisma anschmiegte. Mit einem Spatel wurde die Linsenhälfte, sofern das nötig war, vorsichtig noch etwas angedrückt. Ob die Linse glatt dem Prisma anlag, wurde durch Hindurchsehen durch das Okular nach Herausnahme der Blende festgestellt.

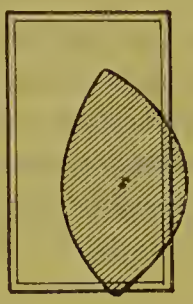
Was die Orientierung der Linsenhälfte auf dem Prisma betrifft, so wurde einheitlich folgende gewählt: Der Äquatorialdurchmesser kam

parallel zur Längsseite, die Axe der Linse parallel zur Querseite des Prismas zu liegen. Bei kleinen Linsen bestrebte ich mich, eine möglichst zentrale Lagerung zu erzielen, bei großen dagegen, die im Gesichtsfelde des Apparates voraussichtlich nicht ganz Platz hatten, wählte ich eine exzentrische Lage, sodaß wenigstens ein langer und ein kurzer Linsen h a l b messer vollständig zu übersehen waren. Stets war die flacher gekrümmte Vorderseite der Linse nach links, die Hinterseite nach rechts gelegen. Man vergleiche die Figuren 4 und 5.

Fig. 4
kleine Linse.

Fig. 5
große Linse.

(Vergrößerter Maßstab.)



Mit einiger Übung war es zu erreichen, daß der Äquatorialdurchmesser nicht sichtlich von der Längsrichtung des Prismas abwich, doch mußte auf eine besondere Genauigkeit schon deshalb verzichtet werden, weil es nicht angängig war, die Linse, sobald ihre Schnittfläche einmal das Prisma berührt hatte, noch irgendwie zu verschieben; hierdurch hätte man ja unter Umständen die größte Verwirrung unter den Indices angerichtet.

Die zum Festhalten der Linse bestimmte, an der Fassung des Prismas befestigte Feder brauchte nur bei größeren Linsen benutzt zu werden, kleine hielten ganz gut von selbst. Auch erheischte die Benutzung der Feder einige Vorsicht, damit kein zu plötzlicher und zu starker Druck ausgeübt wurde.

Wollte man nun zahlreiche Ablesungen an einem Objekte machen, so war der Faktor der Verdunstung noch viel mehr zu berücksichtigen als bei dem A b b e'schen Refraktometer, wo das Objekt immerhin zwischen den beiden Prismen ziemlich gut abgeschlossen war. Hier aber lag ja, da das zweite Prisma bei dieser Methode nicht benutzt

wird, die Linse frei. Ich fertigte mir deshalb ein kleines Kästchen, das sich auf dem Prisma genügend gut anschließend befestigen ließ, unter welchem eine große Linse gerade Platz hatte. Der Boden des Kästchens war mit Filz versehen, welcher während der Untersuchung feucht gehalten wurde. Ferner wurde unter das Prisma, auf den Fuß des Instrumentes, eine Schale mit heißem Wasser gestellt, deren Dünsten das Prisma mit allem, was darauf war, ausgesetzt war. In der Tat gelang es mit diesen Maßnahmen, die Verdunstung aus der Linse so einzuschränken, daß ich noch nach 10—15 Minuten an derselben oberflächlichen Stelle des Querschnittes fast genau den gleichen Brechungsindex ablesen konnte. Die oberflächlichen Schichten kamen ja innerhalb des Zeitraumes der Untersuchung auch allein in Betracht, die ganze übrige Schnittfläche war durch ihre feste Lage auf dem Prisma von der Luft so gut wie völlig abgeschlossen.

Nun konnte an die Indexablesungen herangetreten werden. Es wurde durchgehend hierzu die kleinere der beiden Blendenöffnungen benutzt, da durch sie die Grenzlinie wesentlich schärfer war als durch die größere, die Helligkeit des Gesichtsfeldes war damit, da ich nur bei guter Beleuchtung arbeitete, stets genügend. Im Gegensatze zu der Klümpchenmethode, wo bei durchfallendem Licht untersucht wird, setzt die Halben'sche die Verwendung des reflektierten Lichtes voraus; die an der Hinterseite des Prismas befindliche Klappe wurde daher zurückgeschlagen.

Blickt man nun durch das Okular hindurch, und schiebt man die Alhydade soweit vor, daß in der Mitte des Gesichtsfeldes die Grenzlinie der Totalreflexion erscheint, so stellt sich dieselbe meist als eine nach unten leicht konvexe Linie dar, öfters sind auch Stufen in ihr vorhanden. Zur Feststellung des Brechungsindex bei einer bestimmten Stellung der Okularblende ist diejenige Stelle der Grenzlinie zu wählen, die im Schnittpunkte des Fadenkreuzes liegt, d. h. die Alhydade wird so weit vorgeschoben, bis die Linie durch diesen Schnittpunkt geht. Durch abwechselndes Drehen der Alhydade und Verschieben der Blendenöffnung im rechtwinkligen Koordinatensystem (so gut dies eben mit freier Hand ging) gelang es nun jeweils verhältnismäßig leicht, die Stelle des absolut höchsten Index des Linsenhalbierungsschnittes festzustellen. Dieser wurde in den Schnittpunkt eines auf Millimeterpapier entworfenen rechtwinkligen Kreuzes eingetragen. Nun wurden von diesem Punkte der Linsenschnittfläche aus, der als

das Zentrum der Schichtung angesehen wurde, in Abständen von möglichst genau ½ mm, wie schon oben angegeben, nach oben und unten und ebenso nach rechts und links Indexablesungen gemacht und die Werte in das Schema in der Weise eingetragen, daß 1 mm am Apparat 10 mm im Schema entsprach. Das so gewonnene Diagramm stellte also die Folge der Indices vom Kernzentrum aus nach den Polen und nach dem Äquator zu in 10facher Vergrößerung dar.

Natürlich traf nicht gerade jedesmal der oberflächlichste Index mit der Millimetereinteilung oder der Mitte zwischen zwei Teilstrichen zusammen; dieses Mißverhältnis findet sich sehr deutlich bereits in den Halben'schen Figuren. In einem solchen Falle machte ich auch noch eine Ablesung an dem Punkte des niedrigsten Index des gerade untersuchten Durchmessers. In den Diagrammen ist dann immer der Abstand von ¼ mm angegeben, zum Zeichen, daß es sich um weniger als ½ mm handelte, doch war wegen der groben Teilung eine genauere Schätzung in solchem Falle nicht durchführbar.

Bei den auf Grund der Diagramme angelegten Kurven berühren sich die Äquator-Äquatorkurve und die Pol-Polkurve nach Lage der Sache im Punkte des höchsten Brechungsindex, der ja beiden gemeinsam sein muß.

Will man die Ergebnisse der am Schlusse beigefügten Diagramme und Kurven zusammenfassen, so wird es, ehe auf die Reihenfolge der Indices bezw. ihr Ansteigen von der Oberfläche zum Zentrum der Linsen näher eingegangen wird, zweckmäßig sein, zunächst einen Blick auf die Grenzwerte, d. h. die Indices der Oberfläche und die des Kernzentrums zu werfen.

Es ist genugsam betont und begründet worden, daß die mit dem nach Halben modifizierten Refraktometer erhaltenen Oberflächenwerte wenig Vertrauen beanspruchen dürfen. Man ist genötigt, jedes Eingehen auf Einzelheiten zu vermeiden und sich mit ganz allgemeinen Gesichtspunkten zu begnügen.

Ich beschränke mich daher darauf, die absolute Größe der erhaltenen Pol- und Äquatorindices mit den von mir mit anderer Methode gewonnenen zu vergleichen.

Man beachte folgende Tabelle, die die mit den beiden Refraktometern von mir gefundenen niedrigsten Indices jeder Tierart miteinander in Vergleich bringt.

Tabelle IX.

Tier	Niedrigster Index am vorderen Pol		Äquator		hinteren Pol	
	Refrakt. nach Abbe	Halben	Refrakt. nach Abbe	Halben	Refrakt. nach Abbe	Halben
Huhn	1,3811	1,3831	—	1,3653	—	1,3676
Schwein . . .	1,3779	1 3735	1.3659	1,3687	1.3796	1,3695
Schaf	1,3782	1,3669	1 3707	1.3703	1.3773	1,3794
Ziege	1,3809	1,3820	1.3677	1.3665	1.3810	1.3822
Rind	1.3738	1.3764	1.3642	1,3668	1.3733	1.3836
Pferd	1.3763	1,3899	1.3684	1,3774	1,3758	1.3991
Hund	1.3917	1,3677	—	1.3762	—	1,3808
Affe	1,3857	1,3981	—	1,3704	—	1,3867
Mensch . . .	1.3824	1,3686	1,3685	1,3555	1,3754	1,3683

Man ersieht daraus, daß bei Schwein, Schaf, Ziege und Rind jedenfalls von niedrigerem Index bei Anwendung des verbesserten Refraktometers kaum gesprochen werden kann, mehrfach sind sogar die Werte mit Abbe kleiner, beim Pferd an allen drei Stellen. Beim Menschen sind allerdings die kleinsten Werte für die Pole und den Äquator mit Halben nicht unwesentlich niedriger als mit Abbe. Indessen ist zu bemerken, daß diese niedrigen Zahlen in beiden Fällen nur ganz vereinzelt vorkommen, ferner kommt in Betracht, daß mit der Halben'schen Methode die Linse mit der Kapsel untersucht wird, die sich sehr leicht bei der oberflächlichsten Schicht im Gesichtsfelde des Apparates geltend machen kann, was bei der früheren Methode ausgeschlossen ist. Es ist dies ein bisher noch nicht erwähnter Faktor, der leider ebenfalls zur Ungenauigkeit der neuen Methode beiträgt. Ich wiederhole also nochmals, daß ich aus den mit ihr erhaltenen Oberflächenwerten in keiner Richtung bindende Schlüsse ziehen möchte, keinesfalls halte ich für erwiesen, daß die oberflächlichen Linsenindices beim Menschen wesentlich niedriger sind als meine mit dem Abbe'schen Apparate erhaltenen Zahlen angeben.

Wesentlich zuverlässiger als für die Oberflächenwerte ist die Halben'sche Methode für die Indices im Kernzentrum, und ich durfte gespannt sein, ob sich hier höhere Indices als mit dem alten Apparat finden würden. Ganz unwahrscheinlich war das (von den diesbezüglichen Befunden Halbens ganz abgesehen) insofern ja nicht, als es ja

möglich ist, im Gesichtsfelde des Apparates in der Tat die Stelle der höchsten Brechkraft „in situ“ aufzufinden. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, daß dieses Kernzentrum sich in der untersuchten Schnittfläche der Linse auch findet. Dies wird aber davon abhängen, inwieweit es gelang, die Linse richtig zu halbieren. Kleine Abweichungen von dem Zentrum werden eben doch häufig nicht zu vermeiden sein. Ist also hier durchaus nicht die Garantie vorhanden, daß man immer den allerhöchsten Index abschließt, so kann andererseits zum besten der früheren Methode angeführt werden, daß, sofern die beiden Hälften der Linse nicht absolut gleich erschienen, das Linsenklümpchen, welches man aus der größeren Hälfte entnahm, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Stelle höchsten Indexes mit enthielt. Bei dem neuen Verfahren hingegen ist ja ein in die Tiefe Dringen ausgeschlossen, man muß den Index nehmen, wie er sich a u f der Schnittfläche darbietet.

Ich stelle nun im folgenden alle mit dem verbesserten Refraktometer erhaltenen Kernindices zusammen:

Tabelle X.

Alter	Index des Kernzentrums	Alter	Index des Kernzentrums
Huhn.		**Schaf.**	
1/2 Jahr	1,39 96	6—8 Wochen	1,43 03
1/2—2/3 Jahr	1,39 87	„	1,43 52
3/4—1 Jahr	1,39 58	2—3 Monate	1,43 54
6—7 Jahre	1,40 83	„	1,43 10
		3—4 Monate	1,42 37
		„	1,43 67
		5—8 Monate	1,43 75
		„	1,43 73
		3 Jahre	1,45 93
		7 „	1,46 06
Schwein.		**Ziege.**	
6 Wochen	1,42 36	6 Wochen	1,43 05
„	1,42 37	6—8 Wochen	1,43 08
9 Wochen	1,41 78	„	1,43 12
„	1,42 52	1—2 Jahre	1,44 84
2 Jahre	1,43 78	„	1,44 73
„	1,43 24		
6—7 Jahre	1,44 27		
„	1,44 46		

Alter	Index des Kernzentrums

Ziege.

3–4 Jahre	1,45 46
„	1,45 36
5–6 Jahre	1,45 73
8 Jahre	1.46 73

Rind.

3 Wochen	1,42 24
„	1,43 88
4 Wochen	1,43 45
„	1,43 20
$1^1/_2$ Jahre	1,44 82
2–3 Jahre	1,46 26
4 Jahre	1,44 33
7—8 Jahre	1,44 25
„	1,45 42
10 Jahre	1,45 64
„	1,45 64
14—16 Jahre	1,45 75
15 16 Jahre	1 45 99
16 Jahre	1,46 22

Pferd.

10 12 Monate	1,43 38
„	1,43 58
$3^1/_2$ Jahre	1,44 36
„	1.43 89
8 10 Jahre	1,44 69
16–18 Jahre	1,44 39
22 Jahre	1,44 84

Alter	Index des Kernzentrums

Hund.

Bernhardiner	
$1^1/_4$ Jahr	1,45 23
Schnauzerl	
$1^3/_4$ Jahr	1,45 31
„	1,44 98
Russ. Bärenhund	
$3^1/_{12}$ Jahre	1,46 72
„	1,47 36
Schott. Hofhund	
15 Jahre	1,46 66

Affe.

Jung	1,41 12
„	1,41 10
ca. 2 Jahre	1,41 18
„	1,41 30
„	1,41 33
„	1,41 61
$2^1/_2$–3 Jahre	1,41 32
„	1,41 10

Mensch.

1 Monat	1,39 80
3 Monate	1,40 13
„	1.39 92
$3^1/_2$ Monate	1,40 22
„	1,40 38
5 Monate	1,40 84
1 Jahr	1,40 84
$3^1/_3$ Jahre	1,41 26
„	1,41 24
7 Jahre	1,40 96
„	1,41 02
„	1,40 83

Alter	Index des Kernzentrums	Alter	Index des Kernzentrums
Mensch.		Mensch.	
20 Jahre	1,41 03	54 Jahre	1,41 03
„	1,41 02	55 Jahre	1,40 80
27 Jahre	1,41 05	„	1,40 83
„	1,41 27	58 Jahre	1,40 95
31 Jahre	1,41 10	59 Jahre	1,40 44
37 Jahre	1,41 00	„	1,40 64
39 Jahre	1,41 28	61 Jahre	1,40 95
40 Jahre	1,40 50	65 Jahre	1,40 67
„	1,40 48	„	1,40 42
48 Jahre	1,40 91	65 Jahre	1,40 96
„	1,40 90	„	1,40 93
„	1,41 13	72 Jahre	1,41 10
50 Jahre	1,40 90	„	1,41 29
52 Jahre	1,41 13		
„	1,40 84		

Überblickt man diese den Diagrammen entnommenen Zahlen, so ist zunächst bei einem Vergleiche der aus verschiedenen Lebensaltern desselben Tieres stammenden zu ersehen, daß, ebenso wie bei der früheren Methode, der Kernindex mit zunehmendem Alter im allgemeinen bei den Tieren wesentlich ansteigt. Man vergleiche die Tabelle.

Tabelle XI.

Tier	Alter	Niedrigster Index	Alter	Höchster Index
Huhn	½ Jahr	1,39 96	6—7 Jahre	1,40 83
Schwein	9 Wochen	1.41 78	„	1,44 46
Schaf	6—8 Wochen	1,43 03	7 Jahre	1,46 06
Ziege	6 Wochen	1,43 05	8 Jahre	1,46 73
Rind	3 Wochen	1,42 24	16 Jahre	1,46 22
Pferd	10—12 Monat	1,43 38	22 Jahre	1,44 84
Hund	1¾ Jahr	1,44 98	15 Jahre	1,46 66

Die beim Huhne hier erstmalig bestimmte Differenz ist nicht unerheblich und gestattet auch für dieses Tier den gleichen Schluß wie für alle übrigen. Beim Rind kam ein einziger, sogar noch etwas höherer Kernindex an einem 2—3 jährigen Tiere (1,4626) zur Beobachtung,

ferner ein Index von sogar 1,4736 bei einem $3^{1}/_{12}$jährigen Hunde. Schon früher habe ich darauf hingewiesen, daß bei den in ihrer Größe verschiedenen Hunderassen sehr leicht Unterschiede bestehen könnten und erinnere anläßlich dieses Falles erneut daran.

Vom Affen konnte ich nur jüngere Tiere und zudem nur von verschiedenen Arten bekommen; man kann daher hier nicht auf wesentliche Differenzen rechnen, und in der Tat waren solche auch nicht vorhanden.

Beim Menschen bestätigte sich das früher Gesagte auch jetzt wieder durchaus; die Unterschiede der Kernindices in der Jugend und im Alter sind, bei nicht unerheblichen Schwankungen im einzelnen Falle, nicht sehr bedeutend. Aber auch hier ergibt ein Vergleich der jüngsten und ältesten Linsen ein geringes Ansteigen im Alter.

Tabelle XII.

Mensch	Mittel des Kernindices
10 älteste Linsen	1,40 83 5
10 jüngste Linsen . . .	1,40 55 9
Differenz	0,00 27 6

Diese Differenz ist noch geringer als die früher gefundene (0,00709), aber ebenfalls unbestreitbar vorhanden. Obwohl aus den mehrfach erwähnten Gründen hierzu keine an denselben Linsen erhaltenen Oberflächenwerte mit Berechtigung in Vergleich gezogen werden können, so dürften diese Befunde an den Kernzentren im Zusammenhange mit den vorher mitgeteilten von Kern und Oberfläche doch ebenfalls in dem Sinne gedeutet werden können, daß beim Menschen ein Homogenerwerden der Linse im Sinne von Donders im Laufe des Lebens nicht stattfindet.

Nun zu den absoluten Werten der Kernindices. Hier ergibt sich bemerkenswerterweise, daß die Resultate mit der neuen Methode bei Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd und Mensch annähernd die nämlichen sind wie mit der früheren. Man braucht hierzu nur die Tabellen VI und X miteinander zu vergleichen. Lediglich bei einem 7jährigen Schaf fand sich jetzt ein etwas höherer Index (1,4606) gegen den früheren höchsten bei einem 5jährigen (1,4580). Der neuerdings bei einer Ziege gefundene Wert 1,4673 stammt von einem 8jährigen Tier, während

der etwas niedrigere (1,4586) Maximalindex bei der ersten Untersuchungsreihe von einem 6jährigen, also ebenfalls jüngeren Tiere kam. Man kann also in beiden Fällen nicht den Schluß ziehen, daß die Halben'sche Methode höhere Indices liefert.

Die beim Hunde eruierten Kernindices sind höher als diejenigen, welche Matthiessen und Meyer (l. c) angeben, dagegen halten meine vom Affen stammenden Zahlen die Mitte zwischen denen der beiden Autoren. Valentins (l. c) Zahl für das Huhn und Matthiessens Kernindex für einen Raubvogel liegen zwischen meinen Zahlen.

Beim Menschen ist ganz besonders zu bemerken, daß ich bei keiner einzigen Linse einen derartig exorbitant hohen Wert wie Halben für das Kernzentrum fand. Ein solcher muß, wenn ich nicht irre, auch schon den Mathematikern unter den Fachgenossen äußerst unwahrscheinlich vorkommen. Ich kann nach meinen Erfahrungen jedenfalls nur annehmen, daß entweder die Art und Weise, in der Halben die Linsen für die Untersuchung behandelte, ein Austrocknen der Schnittfläche zuließ oder daß es sich bei dem von ihm gefundenen Kernindex von 1,4452 (!) um einen pathologischen Fall handelte.

Es bleiben nun noch die eigentlichen Indicialkurven in ihrer Bedeutung zu würdigen. Daß das, was sie uns zu lehren scheinen, mit einer gewissen Reserve hingenommen werden muß, ist nach allem Vorausgegangenen ja selbstverständlich. Dies allein schon würde bei Besprechung der Resultate ein allzu nahes Eingehen auf Einzelheiten verbieten, aber auch die große Zahl der zur Verfügung stehenden Kurven (106) drängt zu einer gewissen Enthaltsamkeit. Es kann dem einzelnen Interessenten wohl überlassen bleiben, sich aus der Fülle des Materials dasjenige, was für manche dioptrische Fragen spezieller Natur vielleicht in Betracht kommen könnte, herauszusuchen. Diesem Zwecke dient ja in der Hauptsache auch eine solche Materialsammlung. Ich beschränke mich auf Mitteilung dessen, was von allgemeinerem Interesse und ohne mathematische Spezialkenntnisse zugänglich ist.

Vorher möge noch diesen Kurven, die von in der Kapsel gefrorenen Linsen stammen, zum Vergleiche eine Kurve nebst Diagramm von der Linse eines 2½ jährigen Rindes gegenübergestellt werden, die nach Entfernung der Kapsel in ungefrorenem Zustande halbiert und auf das Prisma gebracht wurde. (Vgl. die letzte der beigefügten Abbildungen.)

Obwohl sich unter den anderen Kurven durchaus nicht selten lückenhafte und gewissermaßen paradox verlaufende finden, so ist m. E. im großen und ganzen nicht zu verkennen, daß das Gefrieren in Bezug auf Erhaltung der normalen Indexverhältnisse von günstigem Einfluß war.

Was nun zunächst den Gesamtverlauf der Kurven anlängt, so glaube ich, wird man mit mir den Eindruck gewinnen, daß derselbe im großen und ganzen bei den kleineren bezw. jüngeren Linsen ein gleichmäßigerer, stufenloserer ist als bei den großen bezw. älteren. Man vergleiche namentlich die Kurven vom Huhn, jungen Schwein, von der jungen Ziege, die von einigen jüngeren Rindern, vom Fohlen, vom jüngeren Hunde, von mehreren jüngeren Affen und vom Menschen aus den Kinderjahren oder wenigstens früheren Lebensaltern. Doch gibt es auch mannigfache Ausnahmen, besonders beim jungen Schafe, bei Kälbern, einem jungen Hunde, bei 2—3 Affenlinsen und bei einigen Kinderlinsen. Andererseits ist auch nicht bei allen Linsen im höheren Alter stets ein deutlich stufenförmiger Verlauf der Kurven zu finden, man vergleiche z. B. die ziemlich konstant ansteigenden Äquatorkurven bei alten Schafen, Ziegen, einem alten Pferde, einem alten Hunde und einigen alten Menschenlinsen, namentlich bei einer 65 jährigen Frau; bei dieser ist auch der Anstieg der Polkurve ein fast stufenfreier.

Im allgemeinen muß bemerkt werden, daß die Äquatorkurve durchschnittlich bei allen Tieren gleichmäßiger verläuft als die Polkurve. Die nachstehende Tabelle enthält die Angabe, wio oft bei jeder Tierart ein nahezu stufenloser Verlauf bei der Pol-Pol- und der Äquator-Äquatorkurve vorhanden war. Hierbei wurde jedoch eine an den unteren Enden der Kurven sich findende Ungleichmäßigkeit bezw. ein rascher Wechsel im Indexanstieg als mögliches Kunstprodukt ein für allemal unberücksichtigt gelassen. Natürlich bleibt es mehr oder weniger dem Ermessen des jeweiligen Betrachters überlassen, in welchem Falle er die Kurve als stufenfrei ansehen will. Ein leichter und mehr allmählicher Richtungswechsel kann jedenfalls nicht als Stufe aufgefaßt werden. Jedenfalls wird die Tabelle als subjektiv gefärbt anzusehen sein, andere Betrachter werden vielleicht etwas andere Zahlen erhalten. Doch wird aus ihnen, glaube ich, sicher hervorgehen, daß die Äquatorkurven gleichmäßiger als die Polkurven verlaufen, wenn auch dahingestellt bleiben soll, ob das Verhältnis gerade mit 2 : 1 (46 : 23), wie es sich mir darstellt, ganz zutreffend sein mag.

Tabelle XIII.

Tier	Anzahl der Fälle, in denen ein stufenfreier Verlauf vorhanden war bei der	
	Polkurve	Äquatorkurve
Huhn	1	4
Schwein . . .	1	5
Schaf	—	2
Ziege	4	4
Rind	2	3
Pferd	—	2
Hund	1	3
Affe	2	5
Mensch	12	18
	23	46

Bemerkt muß werden, daß ich nur solche Kurven als stufenfrei angesehen habe, wo dies für b e i d e Schenkel zutraf, also für den vorderen aufsteigenden und den hinteren absteigenden.

Ein gewisses Interesse verdient die Frage, ob sich bei der Pol-Polkurve im allgemeinen der vordere Schenkel in der Stufenbildung, namentlich in Bezug auf ihre Häufigkeit, wesentlich von dem hinteren unterscheidet.

Tabelle XIV.

Tier	Polkurve; Stufenbildung im	
	vorderen Schenkel	hinteren Schenkel
Huhn	2	2
Schwein	3	5
Schaf	5	7
Ziege	5	4
Rind	10	8
Pferd	3	5
Hund	4	5
Affe	4	3
Mensch	14	16
	50	55

Es ergibt sich m. E., daß durchschnittlich in der hinteren Schicht der Linse ein wenig häufiger als in der vorderen Stufenbildung vorhanden war. Da die Differenz aber nur gering ist, so möchte ich mich einer Verallgemeinerung des Befundes enthalten, ebenso der Vermutung, ob jene vielleicht damit zusammenhängt, daß die Linsen beim Halbieren alle auf der Vorderseite lagen, so daß die Rückfläche zuerst vom schneidenden Messer getroffen wurde.

Ich komme nun zu der Anzahl der Stufen in den einzelnen Kurven. Bekanntlich deuten die von Mitte der zwanziger Jahre beim Menschen regelmäßig auftretenden beiden Kernbilder, das eine aus der vorderen, das andere aus der hinteren Linsenhälfte stammend, darauf hin, daß hier jedenfalls nur je eine deutlichere Stufe in der Indicialkurve besteht. Bei Tieren hingegen, wo häufig mehrfache Kernreflexe vorhanden sind, würden in beiden Schenkeln der Pol-Polkurve oder der Äquator-Äquatorkurve in diesen Fällen mehrere Stufen zu erwarten sein. Leider läßt unsere Methode hierin wieder einmal im Stich. Man wird zwar bemerken, daß sich in meinen Kurven bei den größeren Tierlinsen durchschnittlich zahlreichere Stufen finden als beim Menschen. Allein dies würde ja deshalb nicht beweisend sein, weil hier die Abstände, in denen Ablesungen an der Hand der Millimetereinteilung des Okulars gemacht werden konnten (ca. ½ mm), im Verhältnisse zum Durchmesser des Objekts viel kleiner waren als bei den menschlichen Linsen (und gleichfalls denen des Huhnes und Affen). Es ist deshalb die für den Menschen aufgestellte Indicialkurve wesentlich schematischer als die von den größeren Tierlinsen. Stehen doch aus jedem Axenhalbmesser der menschlichen Linse durchschnittlich nur vier Punkte für Indexablesungen zur Verfügung gegen zuweilen 10—11 bei Tieren! So kommen bei letzteren auch noch kleinere Stufen zur Beobachtung, die beim Menschen einfach unterdrückt werden müssen, falls sie vorhanden sein sollten. Diese verschieden große Genauigkeit bei verschieden großen Linsen wird nun um so mehr zur Geltung kommen müssen, je größer die einzelnen Messungsabstände sind und um so weniger, je kleiner sie sind. Es ist also für das Refraktometer sowohl im Interesse der Genauigkeit bei der menschlichen Linse als auch im Hinblick auf vergleichend-dioptrische Studien eine feinere Einteilung des Gesichtsfeldes dringend notwendig.

Außer der möglicherweise verschiedenen Anordnung der Indices in der vorderen und hinteren Linsenhälfte interessiert auch noch die

etwaige Exzentrizität des Zentrums der Linsenschichtung. Es ist allerdings bei den in ihrem unteren Verlauf so häufig unvollständigen Kurven sehr schwer, hierin zu einem Urteil zu kommen. Einen Anhaltspunkt geben jedenfalls nur die Linsen, bei denen die Polkurve beiderseits so weit nach abwärts reicht, daß man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß sie in Wirklichkeit nicht noch wesentlich weiter nach unten bezw. nach außen gehen müßte. Folgende Tabelle gibt an, wieviel solcher Kurven ich bei jeder Tierart herauszufinden glaubte und ferner, bei wievielen hiervon der vordere und bei wievielen der hintere Kurvenschenkel weiter nach außen reichte (in Millimetern ausgedrückt).

Tabelle XV.

Tier	Zahl der vermutlich vollständigen Kurven	Polkurve weiter nach außen reichend	
		vorn	hinten
Huhn	2	—	2
Schwein	8	2	6
Schaf	2	2	—
Ziege	5	1	4
Rind	—	—	—
Pferd	—	—	—
Hund	2	1	1
Affe	1	—	1
Mensch	18	7	11
	38	13	25

Diese immer ein wenig willkürliche Schätzung ergibt also, daß bei 38 Linsen, deren Untersuchungsergebnisse sich für Beantwortung der Frage einigermaßen verwerten lassen, in 25 Fällen die Stelle höchster Brechkraft näher dem vorderen als dem hinteren Pole zu liegen schien; nur bei 13 Linsen, d. i. ungefähr der Hälfte, schien es umgekehrt. Speziell beim Menschen überwog die Lage des Kernzentrums nach vorn von der Linsenmitte im Verhältnis 11:7.

Einen ungefähr symmetrischen Verlauf sollte man eigentlich bei den beiden Hälften einer Äquator-Äquatorkurve erwarten, da doch höhere Grade von Linsenastigmatismus, wie er durch einen unsymmetrischen Verlauf sich ergeben müßte, immerhin die Ausnahme bilden.

In der folgenden Tabelle findet man angegeben, wie oft meines Erachtens unter allen zur Verfügung stehenden Kurven ein symmetrischer oder einigermaßen symmetrischer Verlauf einerseits bei den Äquator-, andererseits bei den Polkurven herauszufinden ist.

Tabelle XVI.

Tier	Anzahl der Kurven	Fälle symmetrischen Verlaufs der Äquatorkurve	Fälle symmetrischen Verlaufs der Polkurve
Huhn	4	4	2
Schwein	8	3	2
Schaf	10	3	—
Ziege	9	4	3
Rind	14	5	4
Pferd	7	3	3
Hund	6	5	3
Affe	8	7	3
Mensch	40	25	16
	106	59	36

Man sieht, daß trotz der Unvollständigkeit vieler Kurven und der sonstigen Mängel der Methode immer noch 59 Äquatorkurven von 106, d. h. die größere Hälfte, leidliche Symmetrie hatten, wesentlich seltener war diese, wie ja aus dem schon Mitgeteilten auch hervorgehen muß, bei den Polkurven, wo sie nur ungefähr ein Drittel betrug.

Zum Schluß noch ein paar Worte über die „Parabelform“ der Indicialkurve, die ja ein Postulat Matthiessens und seiner Nachfolger bildet. Man könnte ihr immerhin unter den Kurven, die nicht durch Stufen unterbrochen sind, begegnen. Wenn man meine in dieser Richtung genügenden Kurven durchsieht, so wird man auch in der Tat einer ganzen Anzahl begegnen, deren Aussehen sich deutlich der Parabel nähert, besonders wenn man seine Aufmerksamkeit mehr auf den oberen Teil der Kurve lenkt und von den Teilen, die den oberflächlichen Schichten entsprechen, absieht. Beim Menschen im Besonderen überwiegen diese Formen in den jüngeren Jahren, während sie in den späteren relativ seltener sind. Ohne auf Details einzugehen, möchte ich dies doch immerhin erwähnen. —

Es hat sich gezeigt, daß die beiden Refraktometer, das alte A b b e sche und das nach H a l b e n modifizierte, imstande sind, uns wichtige und interessante Aufschlüsse über die Indexverhältnisse der menschlichen und tierischen Linse zu geben, daß aber trotzdem noch manche Fragen ihrer Lösung harren.

Es wird Aufgabe der Zukunft sein, an diese mit noch vollkommeneren Methoden, als bis jetzt zur Verfügung stehen, heranzutreten.

2. Die Brechungsindices des Kammerwassers und Glaskörpers.

Erheblich einfacher als die refraktometrische Untersuchung der Linsensubstanz gestaltet sich die der optisch als homogen anzusehenden flüssigen Medien des Auges, des Kammerwassers und Glaskörpers. Die frühesten hierfür ermittelten Brechwerte sind denn auch bereits in ziemlich großer Übereinstimmung mit den neuesten. Es war demnach viel weniger als bei der Linse meine Aufgabe, die Indices dieser Flüssigkeiten für das einzelne Auge festzustellen, vielmehr war das Hauptinteresse von vorneherein auf das vergleichende Moment gerichtet.

Vorher jedoch mögen die hauptsächlichsten früheren Ergebnisse kurz tabellarisch zusammengestellt folgen:

Autor	Jahr	Tier	Kammerwasser	Glaskörper	Bemerkungen
Hauksbee . .	1710	Ochs		1,33 6	
Maskelyne. .	1789	Kuh	1,33 59 5	1,33 59 5	
Wollaston . .				1,33 6	
Chossat . . .	1818	Mensch	1,33 8	1,33 9	
		Ochs	1,33 8	1,33 8	
		Schwein	1,33 8	1,33 9	
		Truthahn	1,34 4	1,33 8	
Brewster . .	1819	Mensch	1,33 66	1,33 94	
Listing . . .	1845	„	1,33 76 6	1,33 76 6	$= {}^{103}/_{77}$.
Pappenheim .	1847	Ochs		1,33 39	vorn.
				1,33 71	hinten.
Engel	1850	Mensch, 1 J.	1,33 45	1,33 62	
		„ 13 J.	1,33 68	1,37 89	
		„ 20 J.	1,34 21	1,40 19	
		„ 26 J.	1,40 41		
		„ 28 J.	1,33 72	1,37 82	

Autor	Jahr	Tier	Kammerwasser	Glaskörper	Bemerkungen
Engel	1850	Mensch 34 Jahre	1,35 43	1,34 17	
		„ 40 „	1,36 48	1,36 52	
		„ 45 „	1,30 07	1,33 73	
		„ 49 „	1,35 90	1,37 82	
		„ 68 „	1,32 95	1,34 28	
Krause . . .	1855	Mensch	1,33 49	1,33 61	Minimum.
		„	1,35 57	1,35 69	Maximum.
		„	1,34 30	1,34 85	Im Mittel.
		Kalb	1,33 54	1,33 72	Minimum.
		„	1,35 57	1,36 59	Maximum.
		„	1,34 21	1,35 29	Im Mittel.
		„	1,34 15	1,35 28	Nach 24 St.
Zehender . .	1856	Mensch	1,34	—	
Helmholtz . .	1856	„	1,33 65	1,33 82	
Cyon	1869	Mensch, Neugeb.	--	1,34 64 4	Werte für die F (nicht D) = Linie d. Spect.
		„ „	–	1,34 62 6	
		Ochs	1,33 53 2	1,33 56 6	
Fleischer . .	1872	Mensch	1,33 76	1,33 70	$1^1/_2$ Tag p. mrt.
		„	1,33 70	1,33 68	$1^1/_2$ „ „
		„	1,33 77	1,33 64	3 „ „
		„	1,33 70	1,33 64	3 „ „
		„	1,33 79	1,33 67	6 „ „
		„	1,33 79	1,33 65	6 „ „
		Mensch, 1 Mon.	1,33 79	1,33 74	6 „ „
			—	1,33 77	6 „ „
		Schwein	1,33 57	1,33 58	Minimum.
		„	1,33 68	1,33 63	Maximum. 1 St. p. mrt.
		„	1,33 62	1,33 60	Im Mittel.
		Schaf	1,33 63	1,33 62	Minimum. 6 St. p. mrt.
		„	1,33 72	1,33 69	Maximum. 2 Tg. p. mrt.
		„	1,33 67	1,33 64	Im Mittel.
		Kalb	1,33 60	1,33 57	Frisch.
		„	1,33 63	1,33 62	2 Tge. p. mrt.
		Rind. erwachs.	1,33 66	1,33 62	
		Pferd	1,33 65	1,33 63	3 Tge. p. mort.

Autor	Jahr	Tier	Kammerwasser	Glaskörper	Bemerkungen
Hirschberg 32. 33. 34 . .	1874	Mensch, Neugeb.	1.33 86 5	—	2 Tge. p mrt.
		„ 34 J.	1,33 70 5	—	Frisch.
		„	1,33 75 2	—	„
		„ 77 J.	1 33 70 5	—	„
		„	1.33 79 9	—	„
		„ Neugeb.	—	1,33 68 6	48 St. p. mort.
		„ 22 J.	—	1,33 55 8	12 „ „
		„	—	1,33 54 1	„ „
		„ 29 J.	—	1,33 58 8	3 „ „
		„ 30 J.	—	1,33 63 5	70 „ „
		„	—	1.33 60 8	„ „
		„	1,33 74	1,33 60	Im Mittel.
Aubert . . .	1876	„ 2 Tage	1 33 38	1,33 40	
		„ 50 J.	—	1,33 48	
Matthiessen	1877	„	1.33 49	1,33 47	
		„ 40 J.	1 33 51	1.33 48	
		Hund (mittelgroß)	–	1,33 58	
		Ochs	1,33 51	1,33 48	
		Schaf	—	1,33 47	
Valentin . .	1879	Mensch, Embryo 11 Wochen	1.33 62	1 33 64	
		Mensch, Fötus 4 M	1,34 17	1,33 98	
		„ „ 7 M.	1 33 84	1.33 95	
		Affe (Babuin)	1.34 13	1 33 79	
		Affe (Kallitriche)	1,34 12	1,33 88	
		Hund	1.33 79	1.33 72	
		Ziege 14 Tage	1,33 63	1,33 54	
		Huhn	1,33 80	1 33 64	
Becker . . .	1882	Pferd 6 J.	1.33 64	1.33 61	
Moennich . .	1883	Rind	1.33 63	1,33 59	
Klingberg .	1888	Katze, jung	1.33 54	1,33 54	
		„ erwachs.	1.33 55	1 33 50	
Kunst (82) . .	1895	Mensch 3 Mon.	—	1 33 73	
		„		1 33 83	
		„ 24 J.	1,33 77	1,33 77	
		„	1.33 88	—	
		„ 63 J.	—	1 33 71	
		Kalb	1,33 67	1,33 85	
		Ochs	1,33 67	1.33 67	60 St. p. mort.
		Schwein	1,33 66	1.33 70	

Autor	Jahr	Tier	Kammerwasser	Glaskörper	Bemerkungen
W. Meyer . .	1897	Schaf $1^1/_2$ J.	1,33 62	1,33 59	
		„ 2 J.	1,33 63	1,33 60	
		„ 3 J.	1,33 63	1,33 60	
		„ 4 J.	1,33 62	1,33 59	
		„ 5 J.	1,33 62	1,33 59	
Heine	1898	Mensch, 15 J.	—	1,33 15	
		„ 19 J.	—	1,33 61	
		„ 32 J.	—	1,33 18	
		„ 85 J.	—	1,33 3	
		„	—	1,33 3	
Stadtfeldt .	1898	„	1,33 65	1,33 65	

Sofern nicht im folgenden besonders vermerkt, waren die von den Untersuchern gewählten Methoden dieselben, die sie für die Linse anwandten.

Scheiner (1) verglich (1619) das Brechungsvermögen des Kammerwassers dem des Wassers (das der Linse dem des Glases) und nahm das des Glaskörpers als zwischen beiden liegend an. Pappenheim (18) wollte der Behauptung Vallées, daß der Glaskörper aus einer Anzahl von Schichten bestehe, deren Brechungsindex von vorn nach hinten zunehme, nachgehen; er fand die Unterschiede viel geringer als Vallée offenbar angenommen hatte. Mit welcher Methode Pappenheim zu seinen Befunden kam, konnte ich nicht feststellen. Engel (21) wandte für die flüssigen Medien eine andere Methode wie für die Linse an. Er maß mit dem Mikroskop die scheinbare Entfernung einer am Boden der zu untersuchenden Flüssigkeit angebrachten Marke, ferner ihre wirkliche Entfernung und konnte nun aus der Differenz dieser Werte und der ihm bekannten Dicke der Flüssigkeitsschicht den Brechungsexponenten der letzteren berechnen. Über die Einwände gegen Engels Zahlen vergleiche man das früher Gesagte, die geringe Zuverlässigkeit seiner Messungen erhellt auch hier schon aus den teilweise enormen Abweichungen der Indices von denen aller anderen Beobachter. Ähnlich ist es mit denen von Krause (24), die aber immerhin noch genauer sind. Im übrigen muß die große Übereinstimmung der mit verschiedenen Methoden gewonnenen Er-

gebnisse Hauksbees (2), Wollastons (12), Chossats (13), Brewsters (14) und Helmholtz's (26) untereinander und mit den neueren refraktometrisch erhaltenen bewundert werden. Cyon (29) brachte die Flüssigkeiten in ein mit Goniometer versehenes Steinheil'sches Prisma zur Bestimmung der Lichtablenkung, er machte Beobachtungen für fast alle Linien von A—H des Spektrums. Fleischer (30) wandte 1872 zuerst das Abbe'sche Refraktometer an, das damals noch nicht allgemein zugänglich war. Die von ihm untersuchten menschlichen Augen waren der Leiche 1½—6 Tage nach dem Tode entnommen. Fleischer fand, daß erst vom 6. Tage ab eine geringe Zunahme der Indices eintrete. Im übrigen habe der Mensch die höchsten Indices, doch sei dies wahrscheinlich während des Lebens anders, da bei einer Temperaturzunahme von ca. 18° die Indices um ein Geringes (mehr als 0,001) abnähmen.

Der Überblick über die bisherigen Indexbestimmungen der flüssigen Augenmedien ergibt, daß in den ersten beiden Dezimalstellen zweifellos für die höheren Tiere und den Menschen Übereinstimmung herrscht.

Kammerwasser und Glaskörper sind in ihrem Brechungsvermögen nur sehr wenig verschieden. Die älteren Beobachter (bis zur Erfindung des Refraktometers) fanden alle den Glaskörper etwas stärker brechend als das Kammerwasser, bei den neueren ist es umgekehrt. Matthiessen kam für den Glaskörper zu einer durchschnittlich 0,0003 niedrigeren Zahl.

Über das Verhalten der flüssigen Augenmedien in den verschiedenen Lebensaltern geben die bisherigen Untersuchungen nur unvollständigen Aufschluß. Fleischer fand bei einem einmonatlichen Kinde den Index vom Kammerwasser und Glaskörper um ein geringes höher als bei einem Erwachsenen, doch schiebt er den Unterschied auf die verschiedene Untersuchungszeit (6 Tage bezw. 1½ Tage post mortem). Auch bei Hirschberg sind die Indices der Neugeborenen am höchsten. Aubert fand den Glaskörper eines Neugeborenen etwas niedriger brechend als den eines 50jährigen. Einiges Interesse bieten die Werte Valentins für menschliche Föten. Danach wären die Indices in der Mitte des Fötallebens nicht unwesentlich höher als später. Klingbergs Katzen von verschiedenem Alter zeigten keine erheblichen Unterschiede, ebensowenig die Schafe W. Meyers. Heines Glaskörperwerte von alten Menschen sind höher als die von jungen. Fast alle erwähnten Autoren enthalten sich einer Meinungsäußerung

über die Altersveränderung der optischen Dichte der flüssigen Medien. Donders (l. c. S. 173) streift anläßlich der Altershypermetropie die Möglichkeit einer Änderung der Glaskörperbrechung; eine Erhöhung des Coefficienten müsse, da die vordere Oberfläche des Glaskörpers konkav sei, den hinteren Brennpunkt des Auges selbstredend nach hinten verrücken. Donders hat aber die Brechkraft in verschiedenen Lebensperioden nicht verglichen.

Es erschien mir nach dem Vorhergehenden nicht überflüssig, die Brechungsverhältnisse von Kammerwasser und Glaskörper an größerem Material verschiedener Tierspezies aller Lebensalter erneut festzustellen. Ich lasse daher die für Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd und Mensch gewonnenen Ergebnisse in Tabellen folgen.

Die Art der Materialgewinnung wurde bereits weiter oben geschildert.

Als Instrument wurde das gewöhnliche Abbe'sche Refraktometer benutzt, das ja vorzüglich zur Untersuchung von Flüssigkeiten geeignet ist.

Tabelle XVII.

Alter	Stunden post. mort.	Brechungsindices	
		Kammerwasser	Glaskörper
Huhn.			
Nr. 1b 6 Mon.	2½	1,33 22	1,33 28
„ 3b 6—7 Jahre	2	1,33 46	1,33 23
Schwein.			
3 Wochen	½	1,33 38 5	1,33 39 6
2 Monate	1½	1,33 47 5	1,33 42 5
½ Jahr	3	1,33 41 7	1,33 37 5
„	1	1,33 42	1,33 38
„	1½	1,33 40 5	1,33 38 3
„	3	1,33 42 5	1,33 37 5
„	21½	1,33 47 0	1,33 41 0
„	½	1,33 42	1,33 42 8
„	6	1,33 40 5	1,33 44 0
¾ Jahr	6½	1,33 47 6	1,33 39 6
„	7½	1,33 48 7	1,33 41
„	1¾		1,33 39
„	2¼	1,33 39	1,33 41 5

Alter	Stunden post. mort	Brechungsindices	
		Kammerwasser	Glaskörper
		Schwein.	
$^3/_4$—1 Jahr	5	1,33 41 2	1,33 44 4
„ „ „	$6^1/_2$	1,33 40 2	1,33 37 7
1 Jahr	$8^1/_2$	1,33 41 7	1,33 37
1 Jahr	26	1,33 45 5	1,33 44
$1^1/_2$ Jahr	$3^1/_2$	1,33 42	1,33 41 3
$2^1/_2$ Jahre	$2^1/_2$	1,33 49 3	1,33 42 3
3 Jahre	7	1,33 37 5	1,33 34
3—4 Jahre	9	1,33 37	1,33 37 2
3—4 Jahre	26	1,33 49	1,33 37
5 Jahre	7	1,33 42 5	1,33 39 5
		Schaf.	
3 Wochen	6	1,33 47	1,33 42 5
1 Monat	$^1/_2$	1,33 36 3	1,33 36
2 Monate	3	1,33 44 3	1,33 40
$1^1/_2$ Jahr	3	1,33 42	1,33 38
$1^1/_2$ Jahr	7	1,33 47 5	1,33 41 6
5 Jahre	24	1,33 45 5	1,33 41
8 Jahre	5	1,33 43 5	1,33 43 6
		Ziege.	
3 Wochen	$1^1/_4$	1,33 40	1,33 38 4
3 Wochen	$^1/_3$	—	1,33 41 5
	1	1,33 41 6	—
$^1/_2$ Jahr	3	1,33 42 6	1,33 37
$1^1/_2$ Jahr	4	1,33 50	1,33 39
	$4^1/_2$	1,33 41	1,33 32 6
$1^1/_2$ Jahr	$3^1/_2$	1,33 43 5	1,33 42 5
5 Jahre	3	1,33 42	1,33 38
5 Jahre	4	1,33 42	1,33 36 5
6 Jahre	8	1,33 42 5	1,33 38

Alter	Stunden post mort.	Brechungsindices	
		Kammerwasser	Glaskörper
Rind.			
Kalb, kurz vor Geburt	6	—	1,33 39
„	9	1,33 47 3	—
3—5 Wochen	½	1,33 38	1,33 36
„	1½	1,33 38 7	—
4—5 Wochen	½	1 33 42 3	1 33 41 7
„	1¼	1,33 42 7	1,33 40 8
1—2 Jahre	4	1,33 38	1,33 38 2
2—3 Jahre	4½	1,33 43 5	1,33 40 7
„	4	—	1,33 44
4—5 Jahre	2	1,33 41	1,33 41 6
„	2½	1 33 42 6	1,33 41 6
6—7 Jahre	2	1,33 40	1,33 37
„	3	1,33 37 5	—
„	4½	1,33 43 6	1,33 35
9—10 Jahre	½	1,33 39 3	1,33 40
12—14 Jahre	2½	1,33 33 3	1,33 38
„	8	1,33 39 3	1,33 40 3
16—18 Jahre	¼	1,33 34 5	1,33 34
Pferd.			
9 Monate	8	1,33 38	1,33 35 3
1½ Jahre	½	1,33 38	1,33 33 5
2 Jahre	4	1,33 45	1,33 48 3
8 Jahre	3	—	1,33 34 6
14 Jahre	2	1,33 37 5	1,33 35
15 Jahre	¼	1,33 39	1,33 48
„	½	1,33 35 5	—
„	1½	—	1,33 40 5
16 Jahre	2	1,33 34 5	1,33 32
20 Jahre	4½	1,33 37 3	1,33 34
„	8	1,33 35 5	1,33 35 6

Art und Alter	Stunden post mort	Brechungsindices	
		Kammerwasser	Glaskörper
Hund.			
Schnauzerl 1¾ Jahr	4½	1 33 47	—
Russ. Bärenhund 3 1/12 Jahre	24	1,33 52	1,33 48
„	24	—	1,33 47
Schott Hofhund 15 Jahre	3	1,33 48	1,33 50
Affe.			
Husarenaffe, jung	½	1,33 32	1,33 42
„ „	1	—	1,33 42
Makak, 2 Jahre	¾	—	1,33 56
„ „	1¼	1,33 53	1,33 50
Makak, 3 Jahre	½	1,33 22	1,33 24
„ „	2	1,33 22	1,33 25

Alter	Geschl.	Stunden post mort	Brechungsindices	
			Kammerwasser	Glaskörper
Mensch.				
Foetus 9 Mon.	?	5½	1,33 41	1,33 41 6
Neugeb.	m.	27	—	1,33 45 3
		27½	—	1,33 44 3
Neugeb.	w.	9	1,33 45	1,33 41
3 Jahre	w.	24	—	1,33 42 6
16 „	m.	7½	—	1,33 35
21 „	m.	30	—	1,33 36 5
28 „	m.	40	1,33 38 3	1,33 34
		40½	1,33 36 6	1,33 38 5
28 „	w.	32	—	1,33 36 6
29 „	w.	11	—	1,33 36 5
37 „	m.	50	1,33 48 5	1,33 42 6
41 „	w.	16	—	1,33 38
41 „	m.	16	—	1,33 45
45 „	m.	20	—	1,33 38
48 „	w.	36	—	1,33 39
60 „	m.	¼	—	1,33 38
61 „	m.	18	—	1,33 50

Vergleicht man die Mittelwerte der vorhergehenden Zahlen,

Tabelle XVIII.

Tier	Mittelwerte von		Kammerwasser stärker brechend
	Kammerwasser	Glaskörper	
Huhn	1,33 34	1,33 25 5	0,00 08 5
Schwein	1,33 42 9	1,33 39 8	0,00 03 1
Schaf	1,33 43 7	1,33 40 4	0,00 03 3
Ziege	1,33 42 8	1 33 38 2	0,00 04 6
Rind	1,33 40 1	1,33 39 2	0,00 00 9
Pferd	1,33 37 8	1,33 38	— 0,00 00 2
Hund	1,33 49	1,33 48 3	0,00 00 7
Affe	1,33 32 2	1,33 39 8	— 0.00 07 6
Mensch	1,33 41 9	1,33 40 1	0.00 01 8

so ergibt sich, daß mit Ausnahme des Pferdes und des Affen bei allen Augen das Kammerwasser um ein geringes höher brechend war als der Glaskörper, gleichwie es die meisten früheren Beobachter bereits angegeben haben. Am größten ist der Unterschied beim Huhn, am kleinsten beim Hund. Die höchsten Brechungsindices überhaupt hatte der Hund, die niedrigsten der Affe.

Die Schwankungen ein und desselben Mediums bei derselben Tierart sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

Tabelle XIX.

Tier	Kammerwasser		Differenz
	Maximum	Minimum	
Huhn	1,33 46	1.33 22	0.00 24
Schwein	1,33 49 3	1.33 37	0,00 12 3
Schaf	1,33 47 5	1.33 36 3	0,00 11 2
Ziege	1.33 50	1,33 40	0,01 00
Rind	1,33 47 3	1,33 33 3	0.00 14 0
Pferd	1,33 45	1,33 34 5	0,00 10 5
Mensch	1,33 48 5	1,33 36 6	0,00 11 9

Tier	Glaskörper		Differenz
	Maximum	Minimum	
Huhn	1,33 26	1,33 23	0.00 05
Schwein	1,33 44 4	1,33 34	0,00 10 4
Schaf	1,33 43 6	1,33 36	0,00 07 6
Ziege	1,33 42 5	1,33 32 6	0,00 09 9
Rind	1,33 44	1,33 34	0,00 10
Pferd	1,33 48 3	1,33 32	0,00 16 3
Hund	1,33 5	1,33 47	0,00 03
Affe	1,33 56	1 33 24	0,00 32
Mensch	1,33 50	1,33 34	0,00 16

Die Schwankungen sind also erheblich größer als die zwischen Kammerwasser und Glaskörper, die kleinsten finden sich bei Hund und Ziege, die größten beim Affen und Huhn.

Das von den beiden Augen desselben Tieres in einer Anzahl von Fällen erst am folgenden Tage untersuchte zeigte durchweg etwas höhere Indices für die flüssigen Medien als das frische, wie es auch bei F l e i s c h e r und H i r s c h b e r g der Fall war. Es dürfte nicht leicht zu entscheiden sein, wieweit hier die Verdunstung durch die Hüllen des Bulbus oder etwa die Eiweißaufnahme aus der Linse eine Rolle spielte.

Aus den Haupttabellen ergeben sich die Schwankungen in den verschiedenen Lebensaltern. Bei keinem Tiere, von dem hinreichend viele Messungen gemacht wurden, war hierin ein bestimmtes Gesetz zu erkennen. Die beim Huhn und Hund erhobenen Befunde dürften doch zu wenig zahlreich sein, um verallgemeinernde Schlüsse zu gestatten. Die Affen endlich waren in ihrem Alter nur wenig verschieden. — Es darf im allgemeinen wohl ausgesprochen werden, daß Kammerwasser und Glaskörper bei nicht unerheblichen Schwankungen im Einzelfalle ihr Brechungsvermögen während des Lebens nicht gesetzmäßig ändern, wiewohl ich zugebe, daß namentlich für den ja hauptsächlich interessierenden Menschen noch einige Zahlen aus dem höchsten Alter erwünscht wären.

Es scheint mir jedoch, daß die Untersuchung der optischen Dichte der beiden Medien, soweit sie physiologische Verhältnisse betrifft, bei etwaigen weiteren Untersuchungen keine wesentlich neuen Befunde aufdecken wird.

(Den pathologischen Veränderungen ist wohl noch Aufmerksamkeit zu widmen, obwohl für die Indexunterschiede des Kammerwassers und Glaskörpers im physiologischen sowohl wie pathologischen Zustande, wie H e ß (88) ausgeführt hat, im Auge zu behalten ist, daß sie schon ziemlich hohe Grade erreichen müssen, um eine Änderung der Refraktion des Auges verursachen zu können. Jedenfalls sind die bei manchen Krankheiten auftretenden Änderungen ihrer optischen Dichte hierfür zu geringfügig; z. B. riefe eine Erhöhung des Kammerwasserindex von 1,3365 auf den praktisch niemals in Betracht kommenden Wert 1,377 lediglich eine Myopie von 1,7 Dioptrien hervor.)

Anhang.

Maße und Gewichte einer Anzahl Linsen.

Tabelle XX.

Alter	Stunden post mort	Gewicht in gr	Größe in mm
	Schwein.		
½ Jahr	2	0,38 86	9 : 6
„	½	0,39 67	9½ : 7
¾ Jahr	6½	0 39 26	9½ : 7
	7½	0.39 56	9½ : 7
¾—1 Jahr	5	0,39 88	7½ : 7
1 Jahr	8½	0,38 66	9 : 7
	26	0,37 86	9½ : 7
1½ Jahr	3½	0.41 85	10 : 7½
3 –4 Jahre	9	0,41 70	9½ : 7
	26	0,42 30	9½ : 7
	Ziege.		
3 Wochen	1¼	0,33 02	9 : 6½
„	⅓	—	9 : 6½

Alter	Stunden post mort	Gewicht in gr	Größe in mm
		Rind.	
3 - 5 Wochen	1/2	0,87 34	13 : 8
4—5 „	1/2	0,95 98	13 : 9
1—2 Jahre	4	2,01 24	16 : 10,5
	4	2,04 58	—
2—3 „	4 1/2	1,96 64	17 : 10,5
2—3 „	4	1,93 04	16.5 : 10,5
4—5 „	2 1/2	2,34 84	18 : 10,5
6—7 „	2	1,95 90	16 : 10
6—7 „	4 1/2	2 33 86	18 : 12
9—10 „	1/2	2,73 74	18,5 : 11
12—14 „	2 1/2	2,32 40	19 : 10,5
12—14 „	8	2,59 80	19 : 10,5

Die hier anhangsweise gebrachten Maße und Gewichte stammen also nur bei Schweinen und Rindern aus verschiedenen Lebensaltern. Bei beiden Tierarten ist das W a c h s t u m der Linse leicht zu erkennen. Wenn es beim Rinde gegenüber dem Schweine viel beträchtlicher erscheint, so ist zu berücksichtigen, daß die jüngste gemessene Schweinslinse ½ Jahr alt war, zu welchem Zeitpunkt das Wachstum des ganzen Schweines bereits zum großen Teil abgeschlossen ist; jedenfalls folgt aus den Zahlen, daß sich die Linse eines vierjährigen Schweines von der eines halbjährigen nicht wesentlich in ihren Durchmessern unterscheidet. Das Verhältnis des äquatorialen zum polaren Durchmesser wuchs bei meinen Linsen von 100 : 77 auf 100 : 74, nahm also etwas zu. Stärker war das beim Rinde beobachtete Wachstum. Der Äquatorialdurchmesser war bei den ältesten Kuhlinsen ungefähr um die Hälfte größer als bei den Kälbern; nicht im gleichen Maße nahm die Achse zu, nur ungefähr um ein Drittel. Daher war das Verhältnis der Durchmesser zueinander in der Jugend 100 : 61, im Alter 100 : 55. Es zeigten sich also beide Linsenarten im Alter f l a c h e r als in der Jugend und zwar die Rindslinse in höherem Maße als die Schweinslinse.

Daß und aus welchen Gründen die Kenntnis der hiermit verknüpften Radienvergrößerung im Alter von Bedeutung für die Dioptrik ist, durfte ich schon im Abschnitt „Linse“ hervorheben.

Nachstehend noch einige Maße früherer Untersucher:

Rind	Matthiessen	17,75 : 12
	Moennich	18,37 : 12
	Koschel	18,7 : 11,8
Schwein	Matthiessen	11 : 7,5
	Koschel	11,1 : 7,9

Diese Zahlen scheinen von älteren Tieren zu stammen.

Das Gewicht der Linsen fand ich beim Schwein vom 6. Monat bis 4. Jahre, ebenso wie das Volumen, verhältnismäßig wenig verändert, im Maximum um 0,0344 g, so daß sich die jüngste und älteste Linse hierin wie 100 : 109 verhielten. Beim Rinde war den größeren Altersunterschieden entsprechend auch die Gewichtszunahme größer, es verhielten sich jüngste und älteste Linse ungefähr wie 100 : 297 oder wie 1 : 3.

Die beiden Linsen desselben Tieres unterschieden sich einigemale nicht unerheblich voneinander: bei einer 12—14jährigen Kuh machte es 0,274 g aus, d. h. ungefähr $^1/_9$ des Gewichtes der einen Linse; die schwerere von beiden war nur 5½ Stunden nach der anderen zur Untersuchung gekommen. Auch beim Schweine ergaben sich in zwei Fällen nicht unerhebliche Differenzen, wo absichtlich die eine Linse am Schlachttage, die andere am Tage darauf dem Bulbus entnommen und gewogen wurde. Beim ersten Tiere betrug der Unterschied 0,008 g oder ca. $^1/_{48}$ des Linsengewichtes, und zwar hatte die zuletzt untersuchte Linse das geringere Gewicht; umgekehrt war es im zweiten Falle, hier wog die länger aufbewahrte Linse um 0,006 g oder ca. $^1/_{70}$ ihres Gewichtes mehr als die andere. Da die längere Zeit im Bulbus aufbewahrte Linse durch Wasseraufnahme aus der Umgebung schwerer wird (vgl. darüber Leber (98) S. 438/39), so ist anzunehmen, daß die am zweiten Tage leichter als die Schwesterlinse befundene Linse vorher noch leichter war. In Rücksicht auf den viel größeren bei zwei zusammengehörigen, bald nacheinander untersuchten Kuhlinsen ermittelten Gewichtsunterschied würde das nicht befremdend erscheinen.

Zusammenfassung.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse meiner Untersuchungen mögen mit dem durch die Unvollkommenheit der Methoden bedingten Vorbehalt kurz in folgende Sätze zusammengefaßt werden:

Bei Huhn, Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd, Hund und, sofern nicht besonders vermerkt, auch beim Affen und Menschen gilt

für die Linse:

1. Die oberflächlichste Schicht hat in allen Lebensaltern am Äquator den niedrigsten Brechungsindex, von dort nimmt er nach den beiden Polen in ziemlich gleichem Maße zu, so daß diese die Stellen des höchsten Index an der Oberfläche sind.
2. Die absoluten Indexwerte der Oberfläche ändern sich während des Lebens nicht wesentlich, daher wird
3. die Oberflächenindicialkurve während des Lebens im allgemeinen weder steiler noch flacher.
4. Zwischen der isolierten und der in situ befindlichen Linse besteht bezüglich Größe und Verteilung der Oberflächenindices wahrscheinlich kein Unterschied. Beim Menschen ist die Frage noch nicht entschieden.
5. Der Kernindex steigt von der Geburt bis ins höchste Alter bei Huhn, Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd und Hund nicht unbeträchtlich an, sodaß die Differenz zwischen ihm und der Oberfläche sich ständig vergrößert.
6. Beim Menschen wird diese Differenz nur wenig größer. Eine Zunahme der Homogenität der Linse im höheren Lebensalter im Sinne von Donders ist nicht physiologisch.
7. Ein Kernindex von mehr als 1,42 beim Menschen dürfte auf jeden Fall als pathologisch anzusehen sein.
8. Bei jüngeren Individuen hat die Indicialkurve durchschnittlich weniger Stufen als bei älteren.
9. Die Stelle höchster Brechkraft liegt wahrscheinlich in den meisten Fällen näher dem vorderen als dem hinteren Pol.

Berichtigung.

In der Zusammenfassung auf Seite 104 hat es zu lauten:

7. Ein Kernindex von mehr als 1,415 beim Menschen dürfte auf jeden Fall als pathologisch anzusehen sein. (nicht 1,42).

10. Das Differenzialrefraktometer nach Halben macht das alte Abbe'sche für Indexmessungen nicht entbehrlich. Beide Instrumente erfüllen noch nicht alle nötigen Anforderungen.

Für die flüssigen Medien:

1. Kammerwasser und Glaskörper ändern ihr Brechungsvermögen während des Lebens nicht nennenswert.
2. Das Kammerwasser ist ziemlich konstant um ein geringes stärker brechend.

Die Linsen, mindestens von Schwein und Rind, werden mit zunehmendem Alter flacher.

Am Schlusse meiner Arbeit angekommen, ist es mir Bedürfnis, derjenigen Herren zu gedenken, die mir bei ihrem Zustandekommen ihre Hilfe zuteil werden ließen.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Heß in Würzburg bin ich ganz besonders für seine zahlreichen Anregungen und die Liberalität, mit der er mir die Hilfsmittel seines Laboratoriums zur Verfügung stellte, zu Dank verpflichtet.

Gleichfalls habe ich Herrn Geheimrat Professor Dr. Eversbusch in München für mannigfache Anregungen, namentlich bezüglich der Untersuchungsmethode, meinen Dank auszusprechen.

Herrn Geheimrat Professor Orth in Berlin danke ich für Überlassung zahlreicher menschlicher Linsen und eines Arbeitsplatzes im kgl. pathologischen Institut.

Die Herren Geheimrat v. Winckel, Obermedizinalrat Professor v. Bollinger, Geheimrat v. Angerer und Professor Dr. Rückert in München hatten die Güte, mir menschliche Linsen teils zu überlassen, teils zu ihrer Gewinnung behilflich zu sein. Auch allen diesen Herren danke ich aufrichtig für ihre Unterstützung.

Herr Obertierarzt Mölter an der Sanitätsstation des Münchener Schlachthofes war so liebenswürdig, mir dort einen Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen und mir eine große Anzahl Augen von Schlachttieren zu verschaffen. Auch ihm gilt mein verbindlichster Dank.

Literatur.

1619. 1. Scheiner, De oculo. Innsbruck lib. I pars 1. cap. 7.

1710. 2. Hauksbee, Apparatus for making experiments on the refraction of fluids. Philosoph. transact. S. 204.

1719. 3. Pemberton, Dissertatio de facult. oculi qua ad diversas distantias se accommodat. Lugd. Batav.

1726. 4. Petit, Mémoire sur le cristallin de l'oeil de l'homme, des animaux à quatre pieds etc. Mémoirs. Paris.

5. Petit, Mémoire sur plusieures découvertes faites dans les yeux de l'homme, des animaux à quatre pieds etc., ebenda.

1728. 6. Petit, Académie des Sciences.

1730. 7. „ Histoire de l'Académie Royale de Paris.

1740. 8. Wintringham, Experimental Inquiry on some parts of the animal structure. London.

1759. 9. Porterfield, A treatise on the eye, the manner and phenomena of vision. vol. I. S. 439. Edinburg. (cit. in Fischer, Geschichte der Physik, Bd. IV, 1803.)

1789. 10. Maskelyne, An Attempt to explain a Difficulty in the Theory of Vision depending on the different Refrangibility of Light. Philos. Transact. vol. LXXIX. part. II. pag. 256.

1801. 11. Young Th., On the Mechanisme of the eye. Philosophical Transact. vol. XCII (u. in Miscellanous works of the late Th. Y. London 1855 Peacock vol. 1).

1802. 12. Wollaston, A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection. Philosoph. transactions.

1818. 13. Chossat, Extrait d'un mémoire sur le pouvoir réfringent des milieux de l'oeil. Paris. Annales de chimie et de Phys. (par Gay Lussac u. Arrago.) VIII. S. 217 u. X.

1819. 14. Brewster, (and Gordon) Experiments on the structure and refractive power of the coats and humours of the human eye. Edinbourgh. philos. Journ. vol I. S. 42.

1840. 15. Cahours u. Becquerel, Sur le pouvoir réfringent des liquides. Ann. de chimie et phys. XI. Institut S. 399.

1846. 16. Senff, Volkmanns Artikel „Sehen" in Wagners Handwörterbuch der Physiologie. Bd. III/I S. 290.

1845. 17. Listing, Beitrag zur Physiologischen Optik. Göttingen (abgedr. aus den Göttinger Studien) S. 7—21.

1847. 18. Pappenheim, Indices de réfraction du corps vitré. Compt. rend. XXV 901. (Ref. in: Arch. d. Sc. phys. et nat. VII S. 78.)

19. Quesnel, Revue Scientifique XXX. S. 144.

1849. 20. Bertin, Sur la mesure des indiees de réfraction des lames transparents et des liquides à l'aide du mieroseope ordinaire. Ann. d. ehim. et de phys. XXVI S. 288. — Compt. rend. XXVIII S. 447. — Institut Nro. 796 S. 105. — Areh. d. se. phys. et nat. XII S. 45. — Poggendorfs Annalen LXXVI S. 611.

1850. 21. Engel, Zur Physik des Auges. Prager Vierteljahrssehrift für praktisehe Heilkunde. 7. Jahrg. Bd. I S. 167.

1851. 22. Listing, „Dioptrik" in Wagners Handwörterbueh für Physiologie IV. S. 451—504.

1852. 23. Ryba, Prüfung des Breehungsverhältnisses durehsiehtiger Körper. Prager Vierteljahrssehrift für praktische Heilkunde II S. 95.

1855. 24. Krause W., Die Breehungsindiees der durehsiehtigen Medien des mensehl. Auges. Hannover.

1856. 25. Zehender, Anleitung zum Studium der Dioptrik des mensehl. Auges. Erlangen.

26. Helmholtz, Handbueh der physiol. Optik I. Aufl. (1896 II. Aufl.)

1857. 27. Zehender, Über die Brewster'sehe Methode zur Bestimmung der Breehungsexponenten flüssiger und festweicher Substanzen. Areh. f. Ophth. III. 2 S. 99.

1866. 28. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Deutsehe Ausg. Wien.

1869. 29. Cyon, Die Breehungsquotienten des Glaskörpers u. d. Humor aqueus. Wiener Sitzungsberiehte LIX. 2 S. 101—103. (Aufgen. in „Gesammelte Abhandlungen, Berlin 1888 S. 245.) Areh. de phys. 1869 S. 555.

1872. 30. Fleiseher, Neue Bestimmungen der Breehungsexponenten der durchsiehtigen flüssigen Medien des Auges. Jenaer Inaugural-Dissertation.

1873. 31. Critehett, Einige Winke f. d. Behandlung nieht operationsreifer Stare. Ber. d. ophthalm. Ges. Heidelberg u. Klin. Mtsbl. f. Augenh.

1874. 32. Hirsehberg, Über die Breehungsverhältnisse der flüssigen Medien des menschl. Auges. Areh. f. Augen- und Ohrenheilkunde. IV S. 45.

33. —, Über Bestimmung der Breehungsindiees der flüssigen Medien des menschl. Auges. Zentralblatt f. d. mediz. Wissenschaft Nr. 13 S. 193.

34. —, Zur Breehung und Dispersion der flüssigen Augenmedien. Zentralblatt f. d. mediz. Wissensehaft Nr. 52.

35. —, Über Prof. Laqueurs Ophthalmomikrometer und über eine objektive Methode zur Messung des totalen Brechungsvermögens der Kristallinse und der Axenlänge des lebenden Auges. Zentralblatt f. d. mediz. Wissenschaft.

36. Cyon, Über den Breehungsindex der flüssigen Augenmedien, Zentralblatt f. d. mediz. Wissenschaft Nr. 50 S. 785.

1874. 37. Woinow, Bericht über die Versammlung der Ophthalmol. Gesellschaft zu Heidelberg. Beil. zu den Klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde S. 407.
38. Abbe, Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena.
39. Hermann, Über schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Kristallinse. Poggend. Ann. S. 153.
1875. 40. Becker, Pathologie und Therapie des Linsensystems. Handbuch d. ges. Augenheilk. von Graefe-Saemisch I. Aufl. V. Bd. I. Hälfte.
1876. 41. Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien.
42. Aubert, Grundzüge der physiol. Optik. Leipzig.
43. Matthiessen, Über die Berechnung des absoluten Brechungsvermögens des Kernzentrums der Kristallinse. Graefes Arch. für Ophthalm. Bd. XXII S. 131.
1877. 44. —, Grundriß der Dioptrik geschichteter Linsensysteme. Mathemat. Einleitung in die Dioptrik des menschl. Auges. Leipzig. Teubner.
45. Matthiessen-Zehender, Über die Brechungscoefficienten cataractöser Linsen-Substanz. Klin. Monatsblätt. f. Augenheilkunde S. 239.
1879. 46. Matthiessen-Zehender-Jakobson. Über die Brechungscoefficienten und chemische Beschaffenheit cataractöser Linsen-Substanz. Klin. Monatsblätt. f. Augenheilk. S. 307.
47. Peschel, Experimentelle Untersuchungen über die Periskopie der Kristallinse. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. XX S. 338.
48. Valentin, Ein Beitrag zur Kenntnis der Brechungsverhältnisse der Tiergewebe. Arch. f. Physiol. XIX. S. 79—105.
49. —, Fortgesetzte Untersuchungen über die Brechungsverhältnisse der Tiergewebe, ebenda XX. S. 283—314.
1879. 50. Schön, Bemerkungen über die Dioptrik der Kristallinse und die Periskopie des Auges. Arch. f. Anat. u. Physiol. Supplementband.
1880. 51. Nagel, Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges. Handbuch d. ges. Augenheilk. von Graefe-Saemisch. I. Aufl. VI. Bd.
1882. 52. Berlin, Über den physikalisch-optischen Bau des Pferdeauges. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. herausg. v. Eversbusch-Berlin. I. Heft S. 17.
53. Becker, Ebenda S. 22.
54. Matthiessen, Über die Beziehungen, welche zwischen dem Brechungsindex des Kernzentrums der Kristallinse und den Dimensionen des Auges bestehen. Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII.
1883. 55. Moennich, Über den physikalisch-optischen Bau des Rindsauges. Rostocker Dissertation u. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. von Eversbusch-Berlin, II. Jahrg. S. 1.
1884. 56. Schön, Beiträge zur Dioptrik des Auges. Leipzig.

1885. 57. Matthiessen, Über das Gesetz der Zunahme der Brechungsindices innerhalb der Kristallinse der Säugetiere und Fische. Graefes Arch. f. Ophthalm. XXXI. 2. S. 31.

58. —, Über den Begriff und Auswertung des sog. Totalindex der Kristallinse. Arch. f. d. ges. Physiologie. Bd. XXXVI.

59. —, Über den physikalisch-optischen Bau der Augen der Vögel. Arch. f. d. ges. Physiologie. XXXVIII. S. 104.

60. Schwarz, Über das Gesetz der Quellung von Leimzylindern. Exners Repertorium der Physik, Bd. XXI pag. 702.

1886. 61. Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Kristallinse. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. von Eversbusch-Berlin, IV. Jahrg. S. 1.

62. Exner, Über Zylinder, welche optische Bilder entwerfen. Arch. f. d. ges. Physiologie. Bd. XXXVIII S. 274.

62a. Würdinger, Über die vergl. Anatomie d. Ciliarmuskels. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. von Eversbusch-Berlin. IV.

1887. 63. Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Kristallinse II. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. von Eversbusch-Berlin. Bd. V. S. 21.

64. —, Beiträge zur Dioptrik der Kristallinse III, ebenda S. 97.

65. Mocnnich, Neue Untersuchungen über das Lichtbrechungsvermögen der geschichteten Kristallinse der Vertebraten. Habilitationsschrift u. Arch. f. d. ges. Physiologie. XL. S. 397.

66. Matthiessen, Über den physikalisch-optischen Bau des Auges von Cervus alces mas. Arch. f. d. ges. Physiologie. XL. S. 314.

1888. 67. Doyne R., Ophth. Review. pag. 26.

1888. 68. Klingberg, Über den physikalisch-optischen Bau des Auges der Hauskatze. Arch. d. Freunde der Naturgesch. in Mecklenburg. XLII. Ref. Jahresbericht f. Ophthalmologie von Nagel-Michel. S. 57/58.

69. —, Beitrag zur Dioptrik der Augen einiger Haustiere. I. Schulprogramm Güstrow.

1889. 70. —, II. Teil. Schulprogramm Güstrow.

1889. 71. Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Kristallinse. IV. Zeitschrift f. vergl. Augenheilk. von Eversbusch-Berlin. Bd. VI S. 118.

1891. 72. —, Die neueren Fortschritte in unserer Kenntnis vom optischen Bau des Auges der Wirbeltiere. Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane; Festschrift für Helmholtz von Arthur König. S. 51.

73. Bertin-Sans, Influences de l'âge sur les indices de réfraction des différentes couches du cristallin. Arch. d'ophtalmologie Juli—August S. 289.

74. Knaggs L., On lenticonus, Lancet II. p. 657.

1892. 75. Klingberg, Beitrag zur Dioptrik der Augen einiger Haustiere III. Schulprogramm Güstrow.

1893. 76. Matthiessen, Über den physikalisch-optischen Bau der Augen vom Knölwal und Finwal. Zeitschr. f. vergl. Augenheilkunde von Eversbusch-Berlin. Bd. VII S. 77.

77. —, Beiträge zur Dioptrik der Kristallinse V, ebenda S. 102.

1893. 78. Bertin-Sans, Des modifications que subissent sous l'influence de l'âge l'indice et les rayons de courbure du cristallin. Compt. rend. de la Soc. de biolog. V. p. 555.
79. —, Des variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons de courbure du cristallin. Arch. d'ophtalmolog. XIII S. 240.
80. —, Indices de la réfraction des différentes couches du cristallin chez un homme de 23 ans. Nouveau Montpellier méd. II. p. 93.
81. Demicheri L., Faux lentieone. Annal. d'oculistique. 58. Jahrg. Bd. CXIII S. 93.
1895. 82. Kunst, Beiträge zur Kenntnis der Farbenzerstreuung und des osmotischen Druckes einiger brechender Medien des Auges. Freiburger Inaugural-Dissertation.
1896. 83. Stadtfeld u. Tscherning, Une nouvelle méthode pour étudier la réfraction cristallinienne. Arch. de physiol. VIII. S. 669.
1897. 84. Axenfeld, Über den Brechungswert der Hornhaut und der Linse beim Neugeborenen, nebst Bemerkungen über Ophthalmometrie an Leichenaugen. Zeitschr. für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. XV. S. 71.
85. Berlin, Über eine Bestimmung des Totalindex der Linse im lebenden Auge. Graefes Arch. für Ophthalmol. XLIII. S. 287.
86. Meyer W., Über den physikalisch-optischen Bau der Augen von Schaf und Hund. Inaugural-Dissertation. Rostock.
87. Tscherning. Optique physiologique. Paris.
1898. 88. Heß, Über den Einfluß, den der Brechungsindex des Kammerwassers auf die Gesamtrefraktion des Auges hat. Klin. Monatsblätt. für Augenheilk. S. 274.
89. Heine, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Linse. Graefes Arch. für Ophthalmologie. XLVI. S. 525—552.
90. Stadtfeld, Den menneskelige Linses optiske konstanter. Kopenhagen.
91. Guttmann, Doppelte Refraktion auf einem Auge infolge von Kernselerose. Zentralblatt für prakt. Augenheilkunde S. 193.
1899. 92. Holth, Ophthalmometrische Untersuchungen über das menschliche Auge nach dem Tode. Bericht über den 9. Internationalen Ophthalmologen-Kongress in Utrecht.
1900. 93. Guttmann, Ein zweiter Fall von Doppelrefraktion eines Auges infolge von Selerose des Linsenkerns. Zentralblatt für prakt. Augenheilkunde. S. 297.
1902. 94. Treutler, Einige Bemerkungen zu den schematischen Augen. Klin. Monatsblätter für Augenheilkunde.
95. Cohn, Über zentrale Linsen-Myopie infolge Selerose des Linsenkerns. Freiburger Inaugural-Dissertation.
1903. 96. Halben R., Scheincataract. Graefes Arch. für Ophthalmol. Bd. LVII. S. 277.
97. v. Szili, Die Linse mit zweifachem Brennpunkt. Klin. Monatsblätter für Augenheilkunde. Juli. S. 44.

1903. 98. Leber, Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Handbuch der ges. Augenheilkunde von Graefe-Saemisch. II. Aufl. II 2. S. 438 u. 439.

99. Heß, Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges. Handbuch der ges. Augenheilkunde von Graefe-Saemisch. II. Aufl. Bd. VIII 2.

1905. 100. Heß, Über Linsenbildchen, die durch Spiegelung am Kerne der normalen Linse entstehen. Arch. für Augenheilkunde. LI. Bd. S. 375.

101. Schmidt, Unter demselben Titel, ebenda, LII. Bd. S. 397.

102. Heß, Pathologie und Therapie des Linsensystems. Handbuch des ges. Augenheilkunde von Graefe-Saemisch. II. Aufl. Bd. VI S. 9 ff.

103. Halben, Bericht über die 32. Versammlung der Heidelberger Ophthalmologischen Gesellschaft S. 354 und Mitteilungen des naturwissenschaftl. Vereins für Neuvorpommern und Rügen zu Greifswald.

1906. 104. Freytag, Über den Einfluß von Linsenveränderungen auf die Refraktion des Auges. Arch. für Augenheilkunde, Bd. LIV, Heft III, S. 328.

105. —, Über die Kernreflexbilder der menschl. Linse, ebenda, S. 336.

Erklärung zu den Figuren.

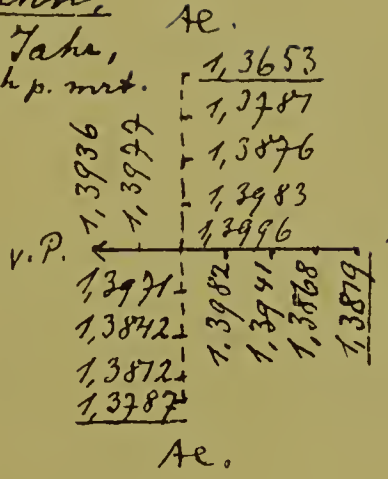
Aus raumökonomischen Gründen mußten die Diagramme und Kurven großenteils in etwas verkleinertem Maßstabe reproduziert werden.

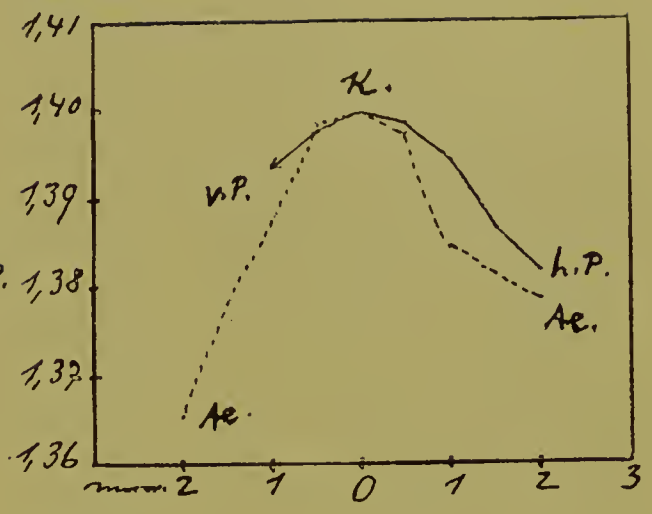
Die in den Diagrammen an den Enden der Linsenradien und an den Enden der Kurven sich teilweise findenden Pfeilspitzen sollen andeuten, daß hier mit Sicherheit anzunehmen war, daß die angegebene Zahl oder Endstelle der Kurve nicht die in diesem Radius wirklich niedrigste Zahl bezw. tiefste Stelle der Kurve war. Die Gründe, die die Ablesung eines niedrigeren Index verhinderten, konnten ja verschiedene sein, entweder war an dieser Stelle vorher schon eine Substanzprobe entnommen worden (zur Bestimmung des vorderen Polindex in situ) oder der Rand des Gesichtsfeldes verhinderte ein weiteres Ablesen (namentlich bei den größeren Linsen) oder die Grenzlinie war so unscharf, daß daraus eine Zerstörung der Struktur der äußersten Linsenschicht mit Sicherheit hervorging oder es war durch Anwesenheit von Luft oder Flüssigkeit unter der Schnittfläche der Linse keine als Linsenindex zu deutende Zahl zu erhalten. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß das Fehlen der Pfeilspitzen nicht ausschließt, daß an der betreffenden Stelle in Wirklichkeit ein noch niedrigerer Index auf den zuletzt eingetragenen zu folgen hätte. Es war eben, wie ja aus dem weiter oben mehrfach Ausgeführten zur Genüge hervorgeht, kaum in einem Falle möglich, die Garantie für völlige Intaktheit der oberflächlichsten Schichten zu übernehmen.

Abkürzungen: v. P. = vorderer Pol; h. P. = hinterer Pol; Ae. = Äquator; K. = Kernzentrum; mm = Millimeter; p. mrt. = post mortem.

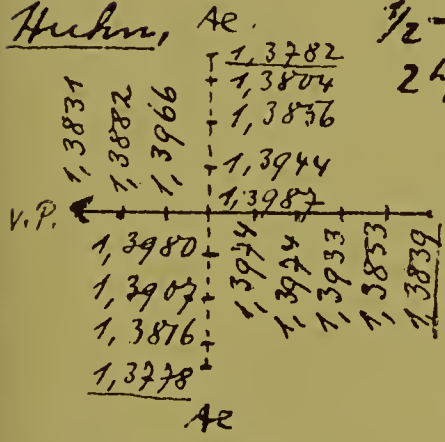
I.

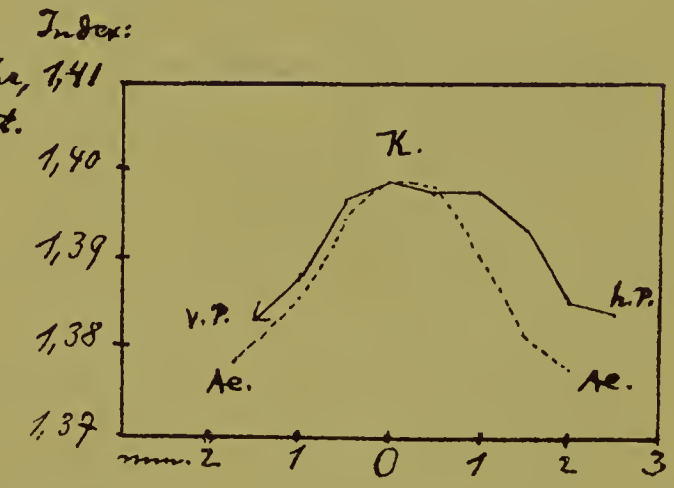
1.
Huhn,
1/2 Jahr,
2½ h p. mt.



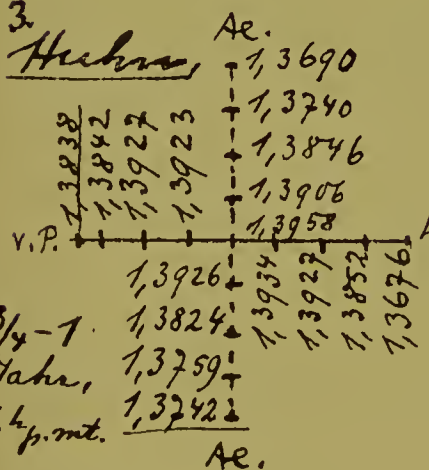


2.
Huhn,
3/2 - 2/3 Jhr,
2 h p. mt.

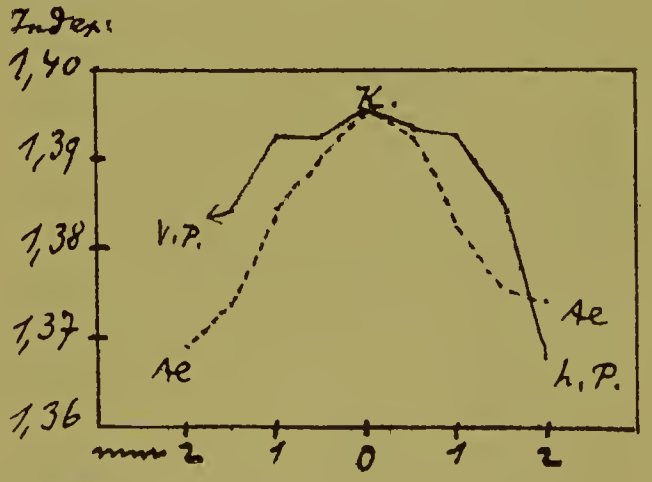




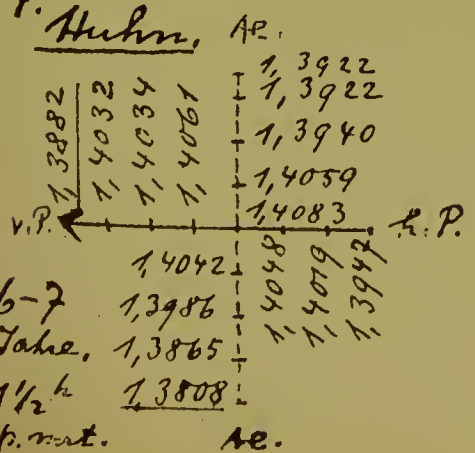
3.
Huhn,



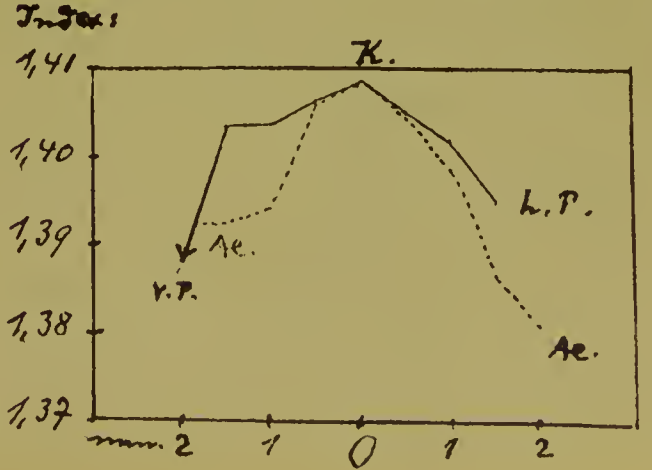
3/4 - 1 Jahr,
6 h p. mt.



4. Huhn,

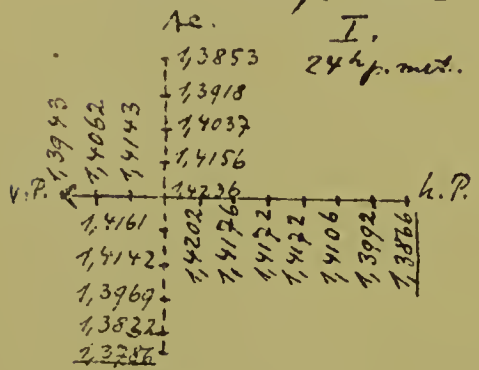


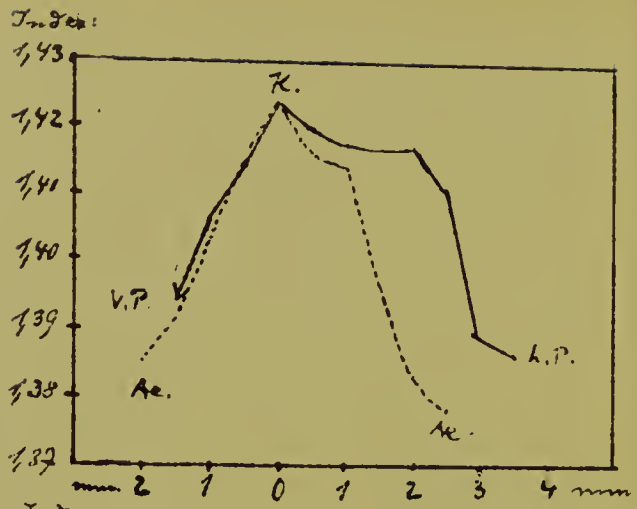
6-7 Jahre,
1½ h p. mt.



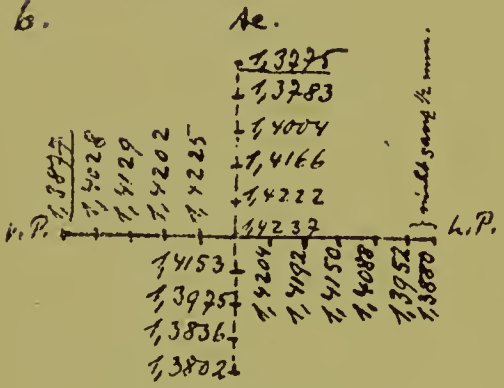
II.

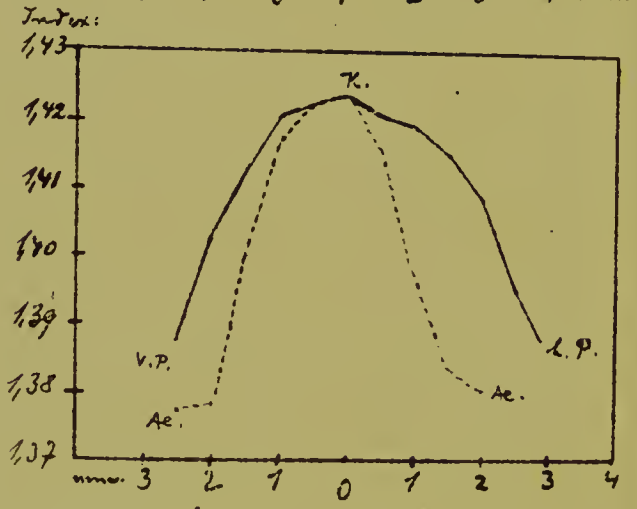
5. Schwein, 6 Woch. I. 24 h p. mct.



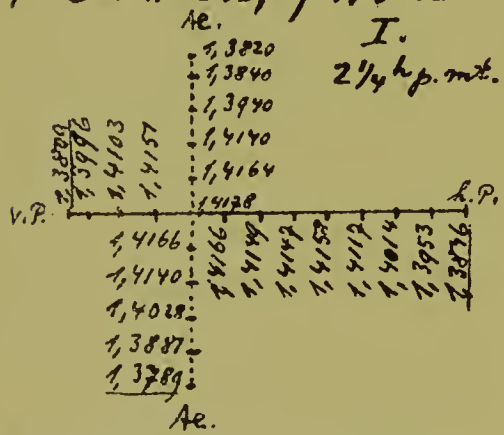


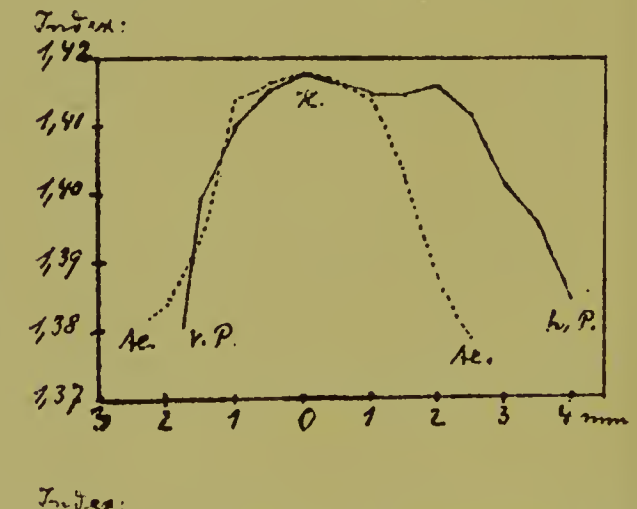
6. Schwein, 6 Woch. II. 2½ h p. mct.



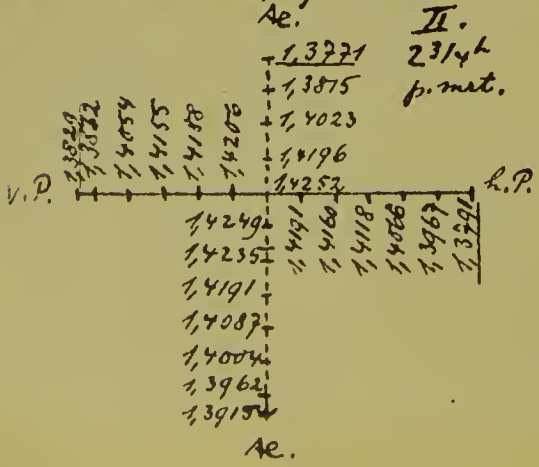


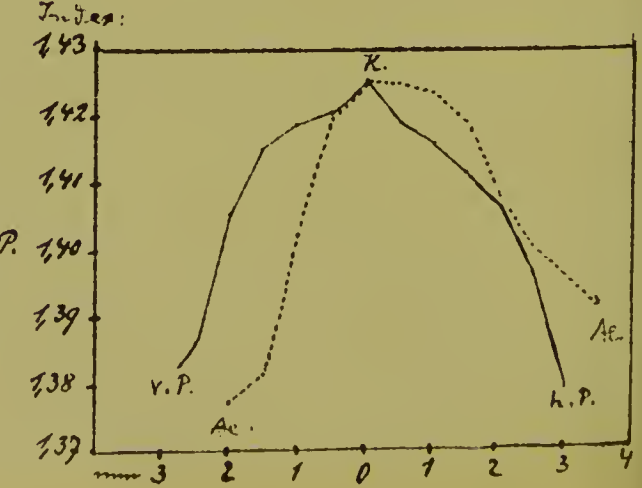
7. Schwein, 9 Woch. I. 2¼ h p. mct.



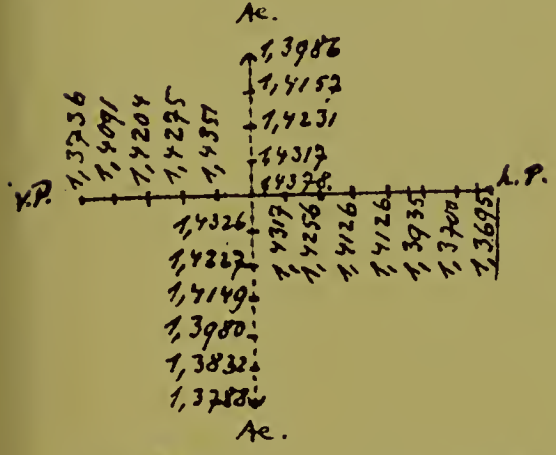


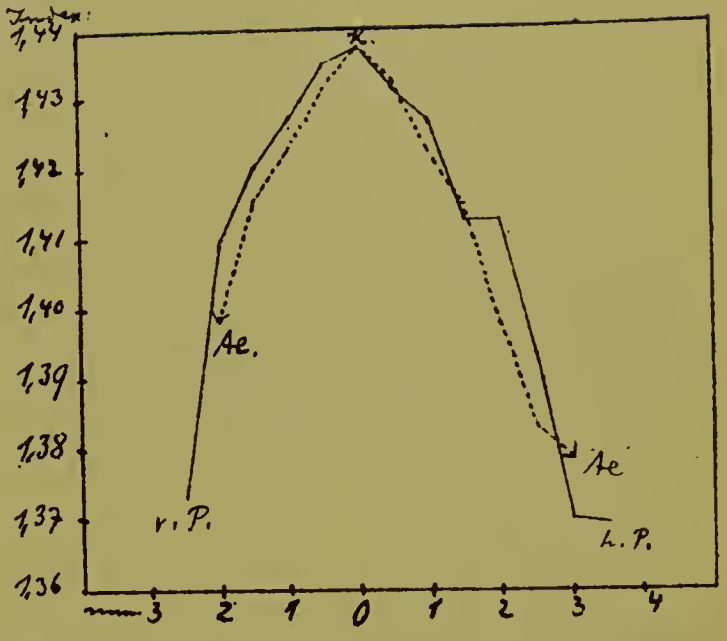
8. Schwein, 9 Woch. II. 2¾ h p. mct.



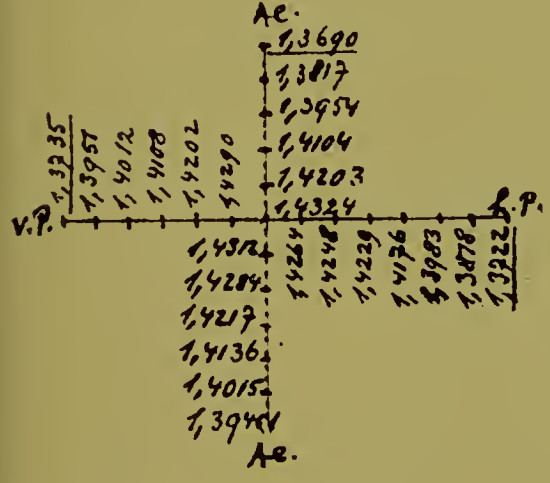


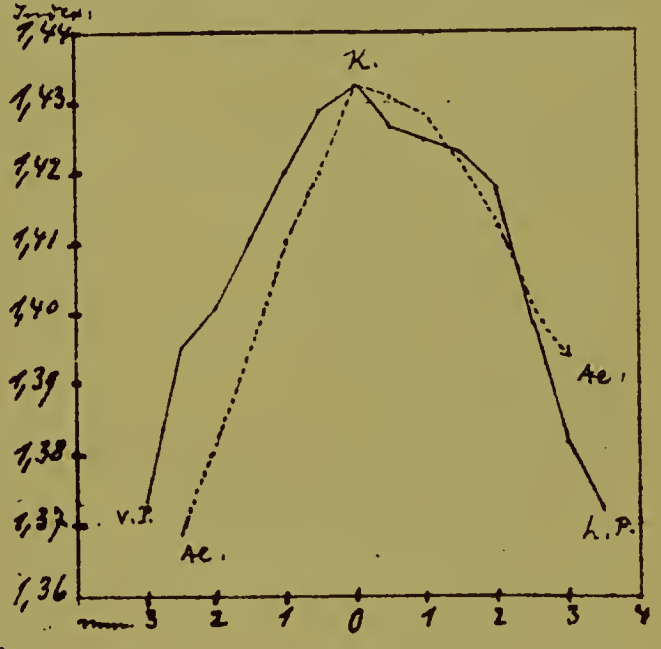
9. Schwein, 2 Jahre,
I. 25 h p. mrt.





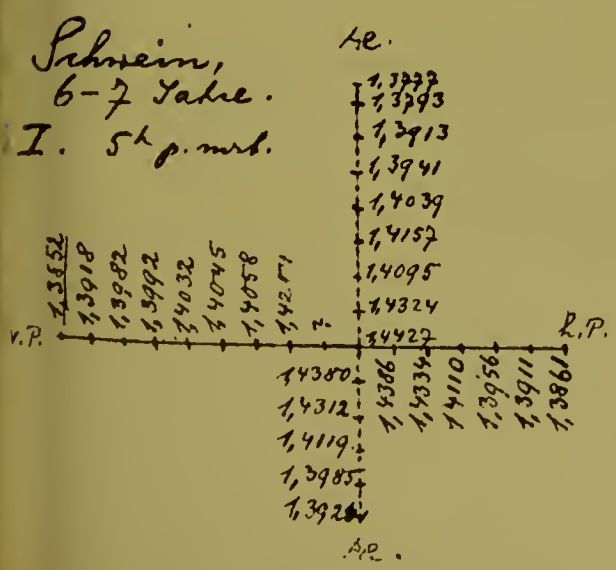
10. Schwein, 2 Jahre,
II. 29 h p. mrt.

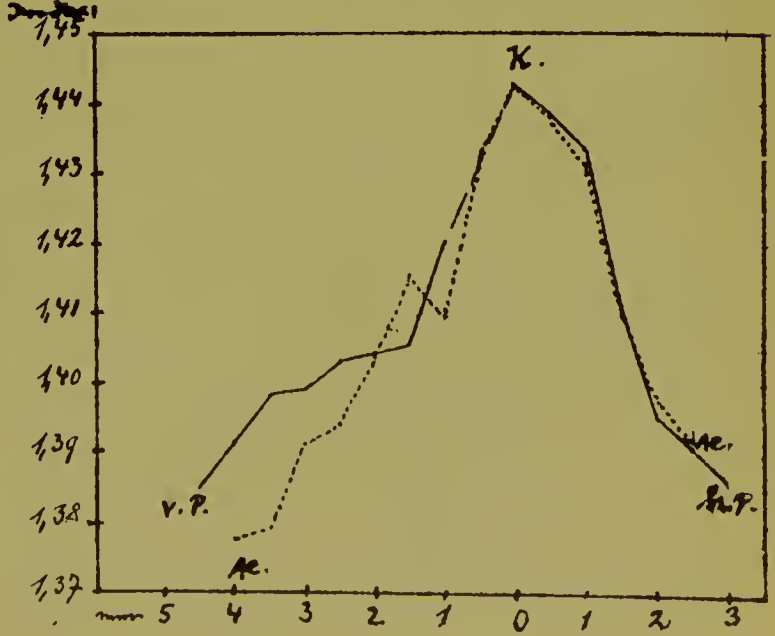




7.

Schwein,
6-7 Jahre.
I. 5 h p. mrt.

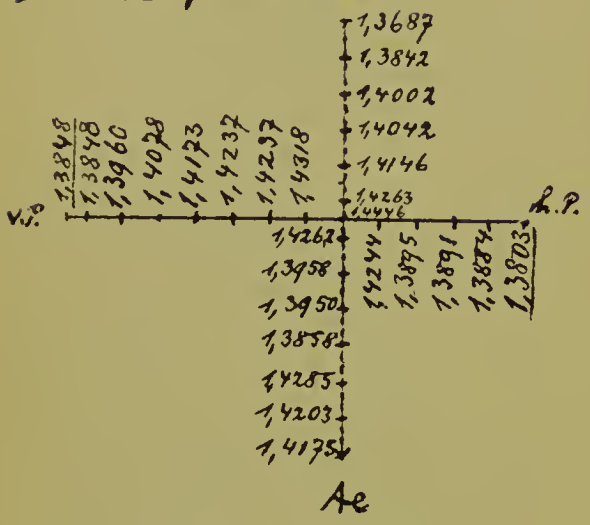




12.

Schwein, 6–7 Jahre.

II. 5½ h p. mrt.

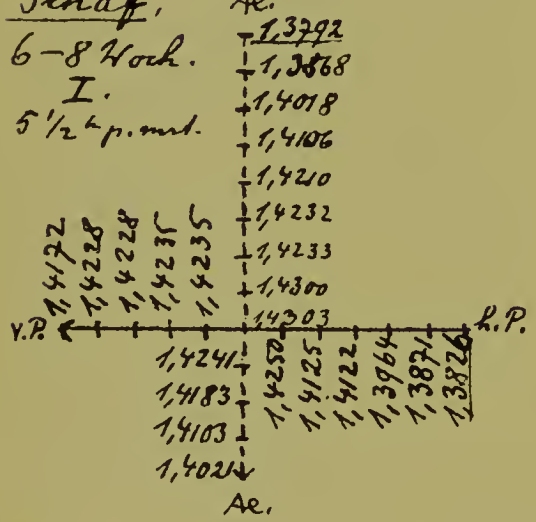


13.

Schaf, 6–8 Woch.

I.

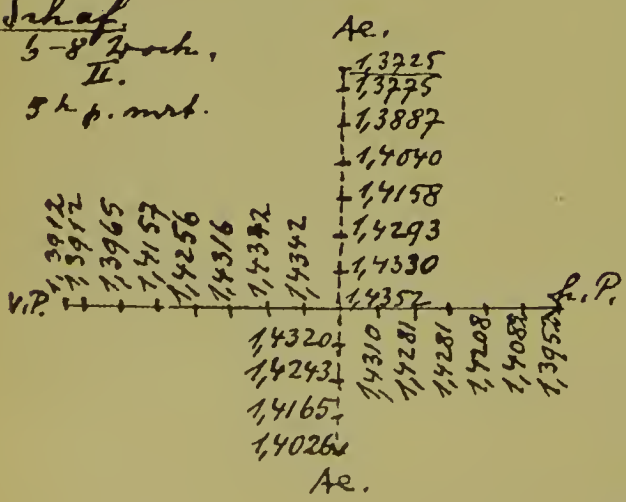
5½ h p. mrt.



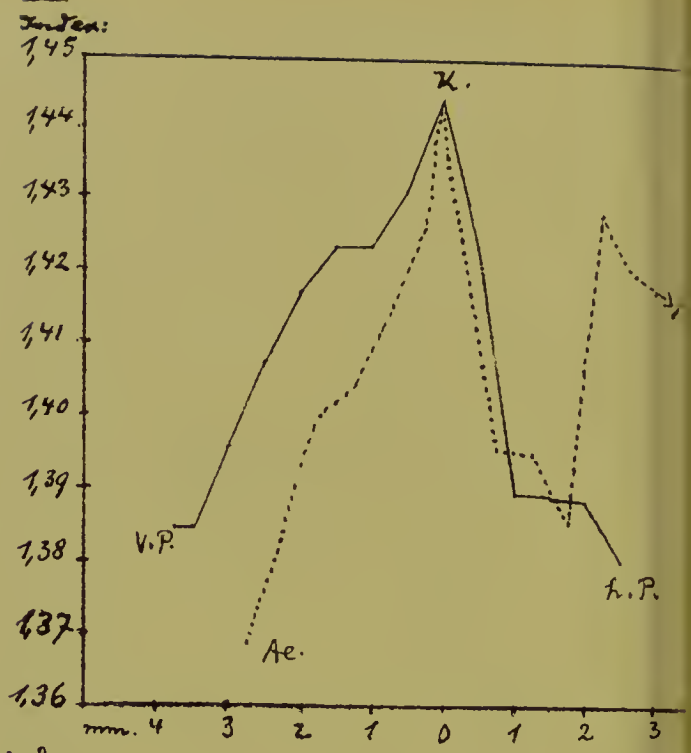
14.

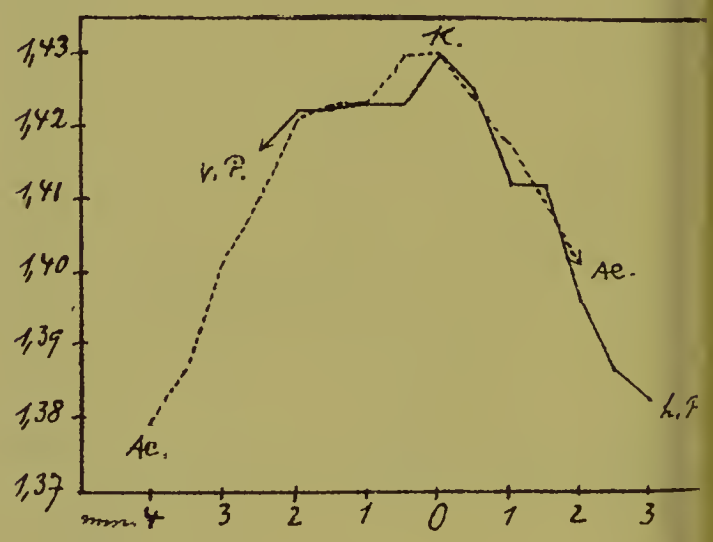
Schaf 6–8 Woch., II.

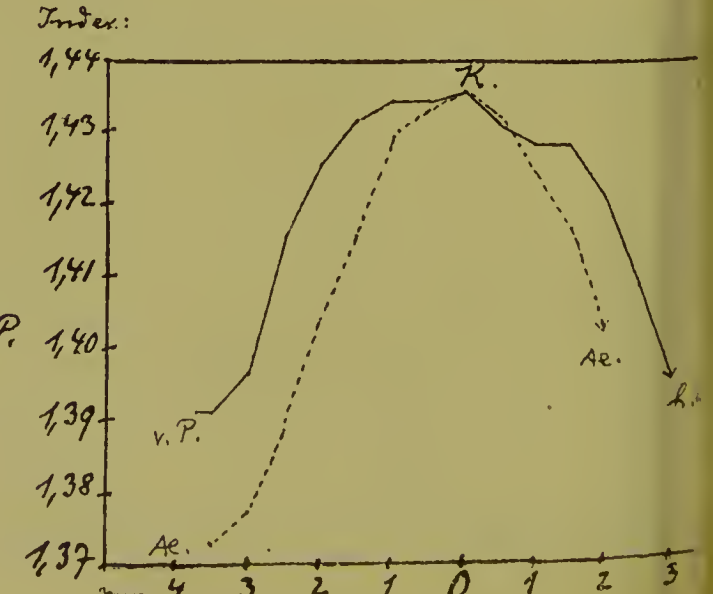
5 h p. mrt.



IV.

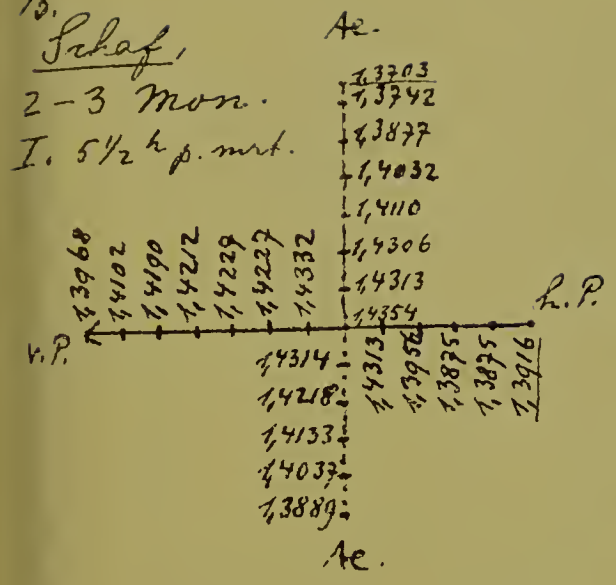




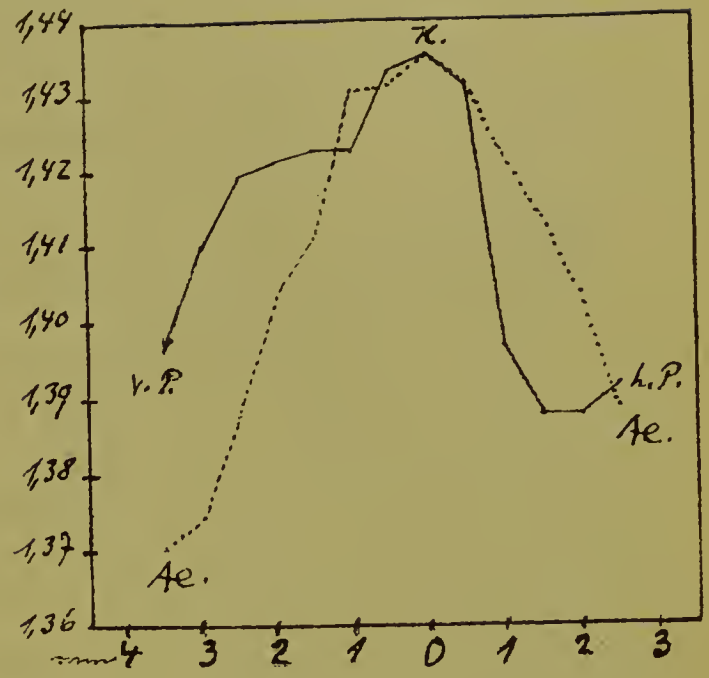


V.

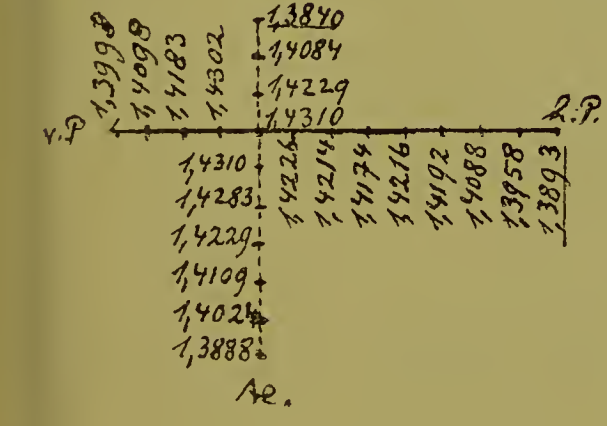
15. Schaf, 2–3 Mon. I. 5½ h p. mrt.



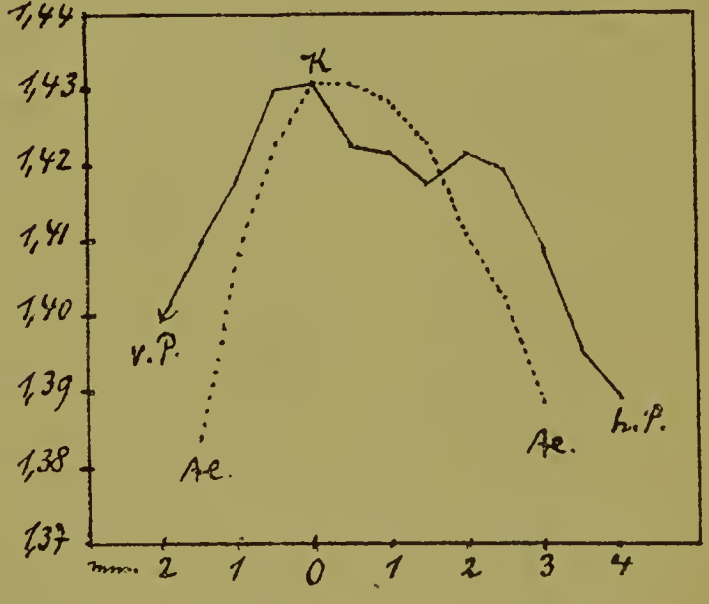
Index:



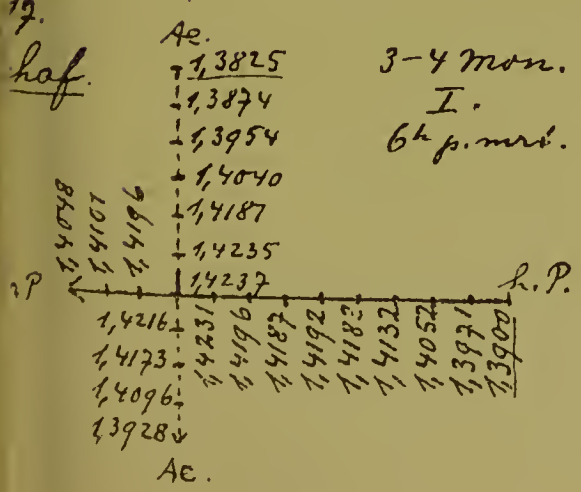
16. Schaf, 2–3 Mon. II. 6 h p. mrt.



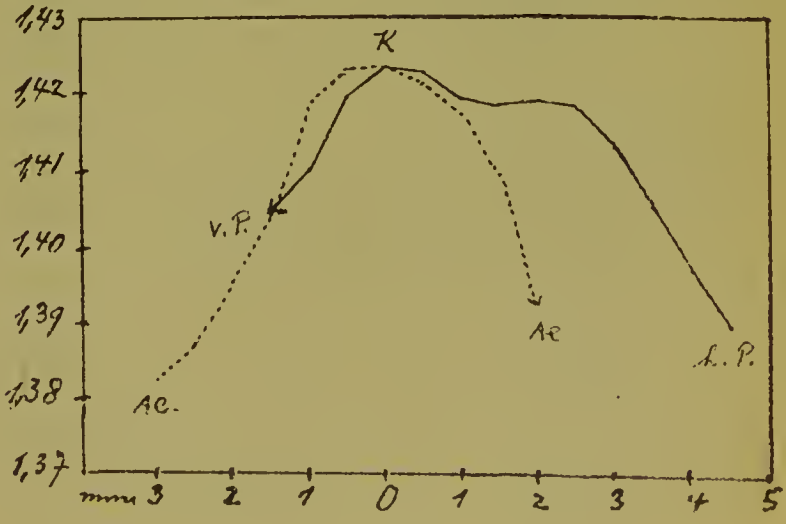
Index:



17. Schaf. 3–4 Mon. I. 6 h p. mrt.



Index:

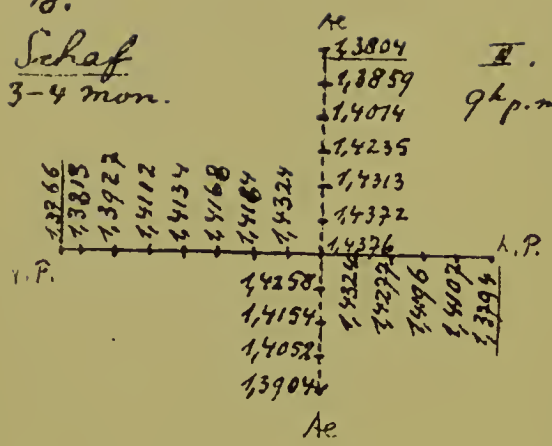


VI.

18.

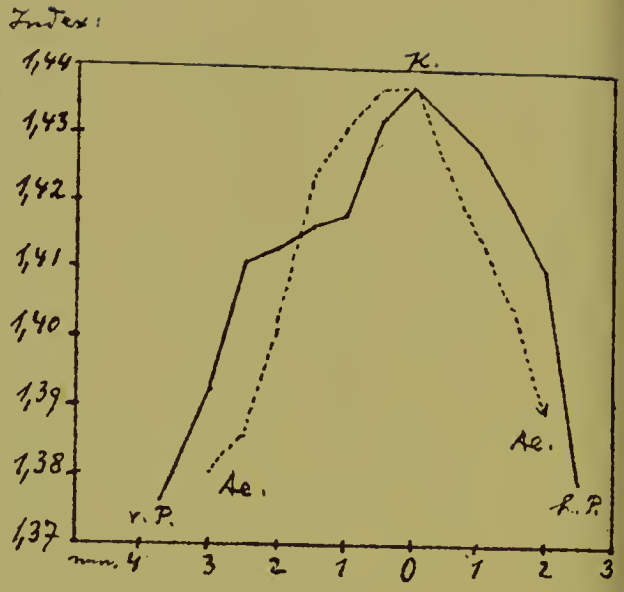
Schaf

3–4 mon.



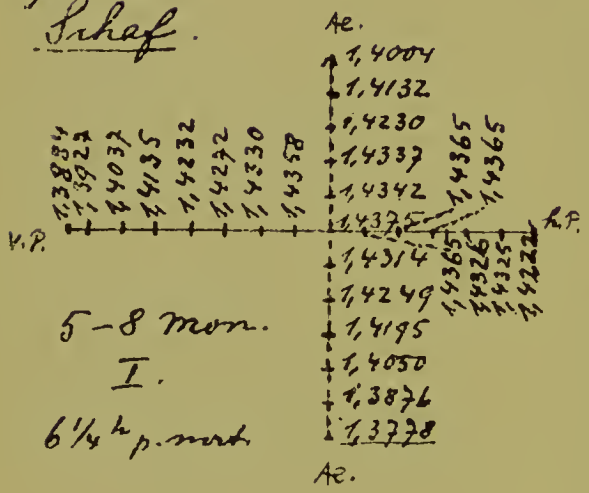
II.

9 h p. mrt.



19.

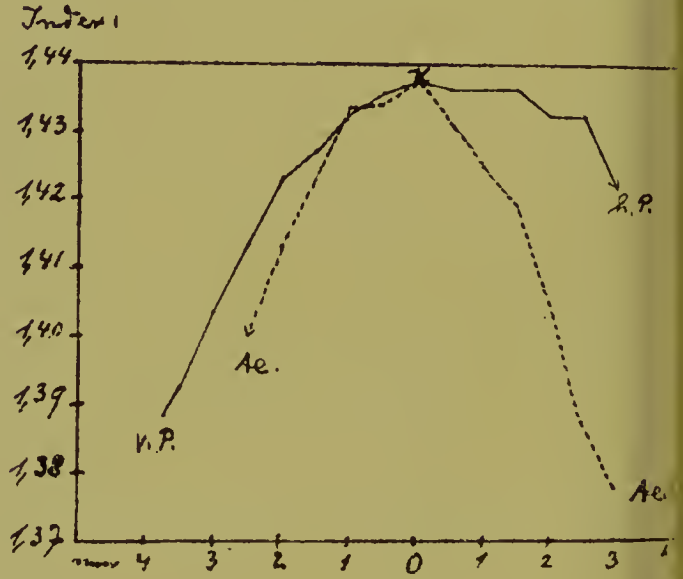
Schaf.



5–8 mon.

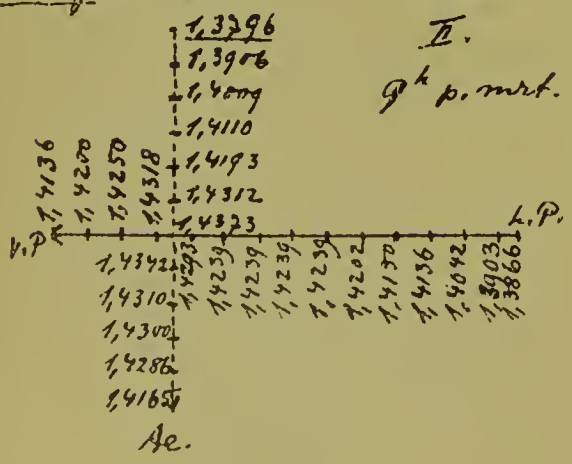
I.

6 1/4 h p. mrt.



20

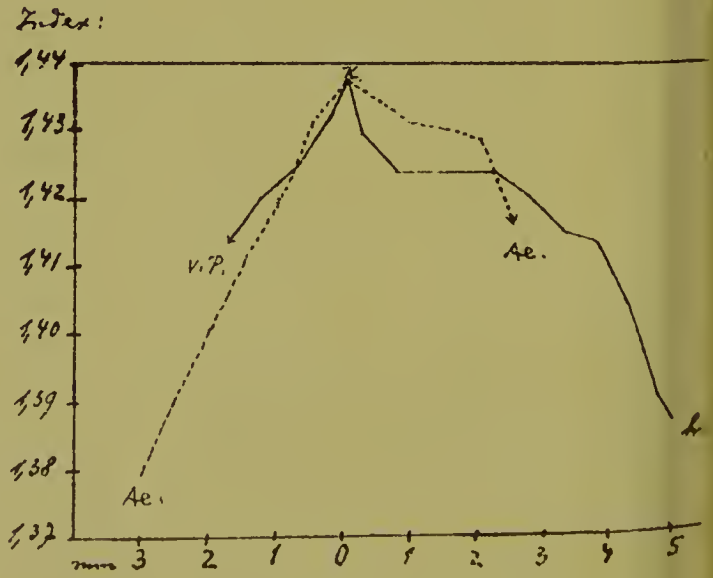
Schaf. Ae.



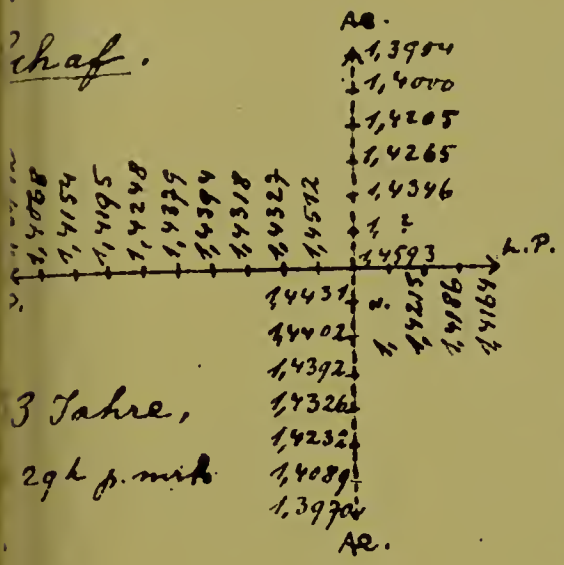
5–8 Mon.

II.

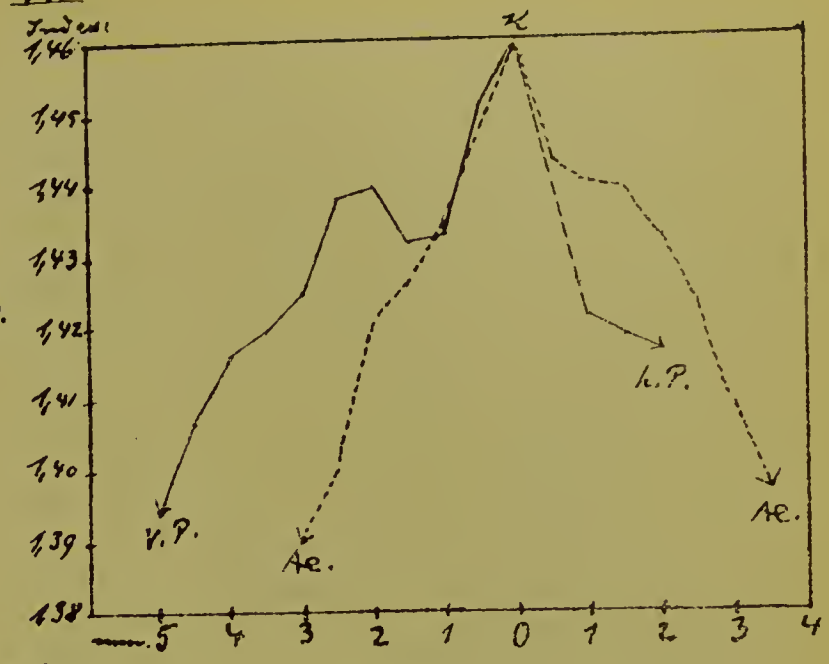
9 h p. mrt.



chaf.

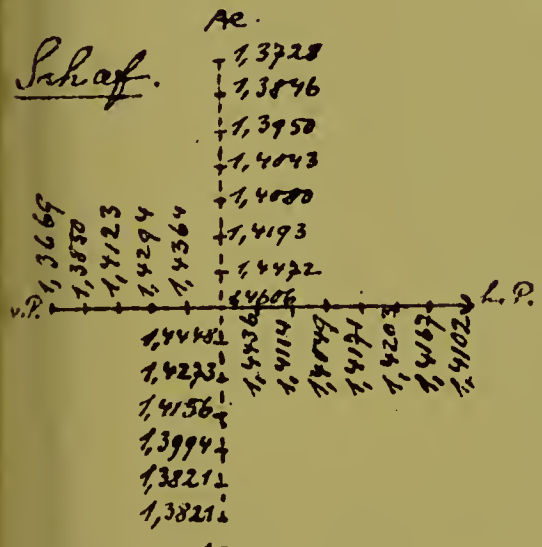


3 Jahre,
29 h p. mit

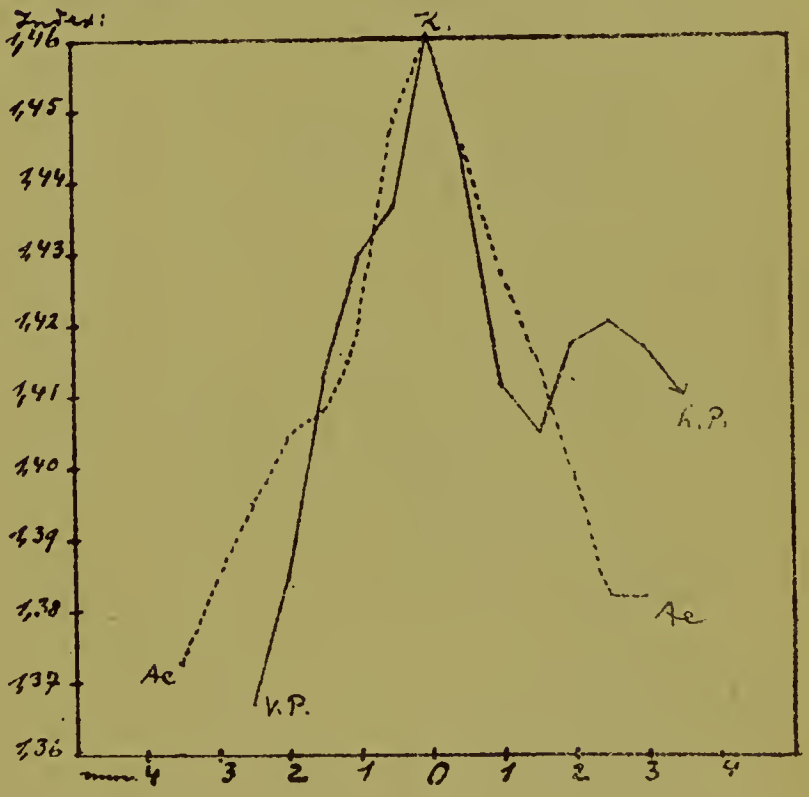


22.

Schaf.

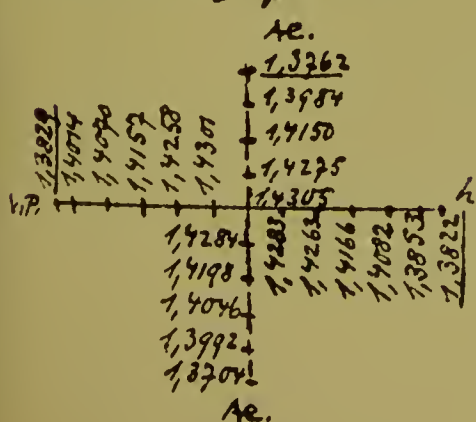


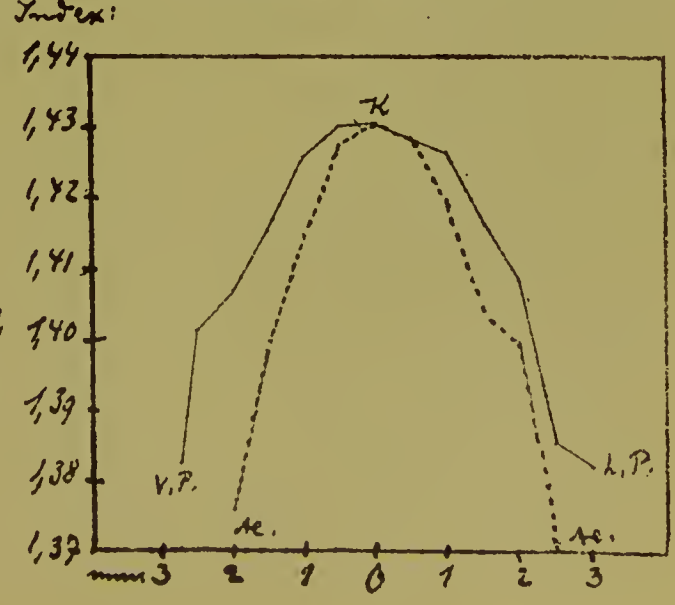
7 Jahre
6 h p. mit.



23.

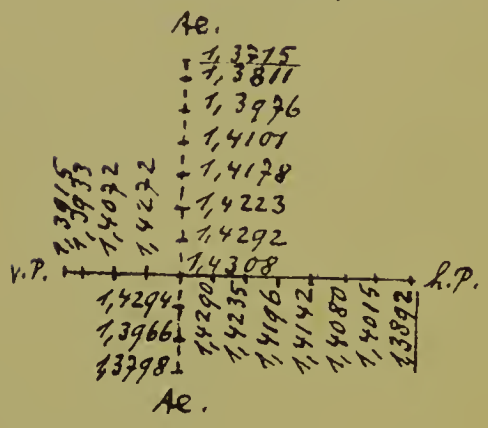
Ziege, 6 Woch.
6 h p. mit.

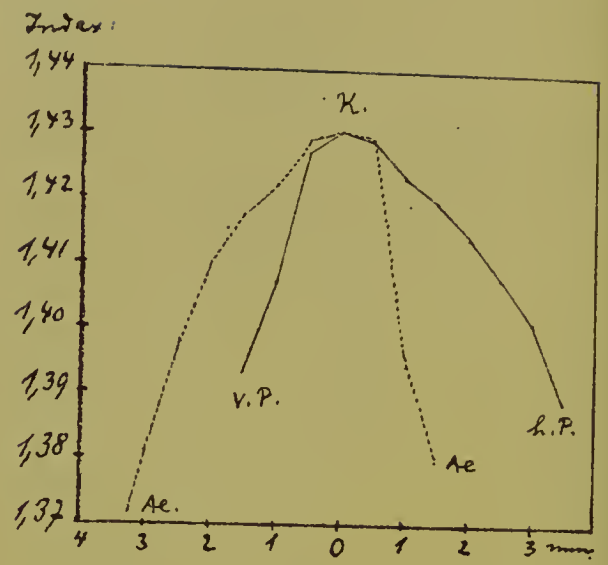




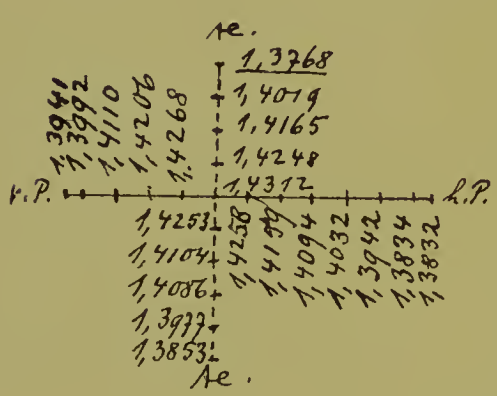
VIII.

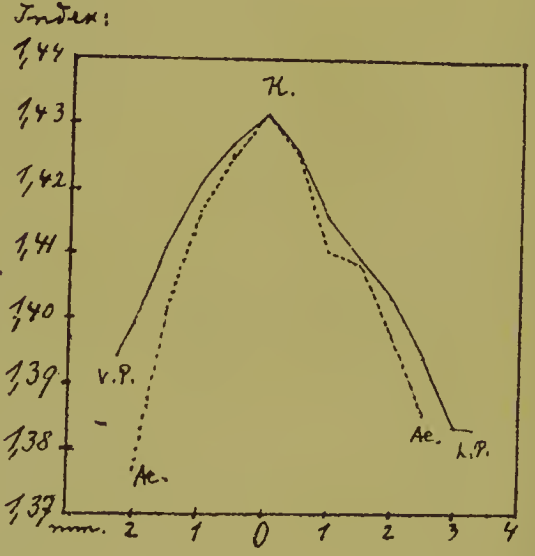
24. Ziege, 6–8 Woch.
I. 6½ p. mrt.



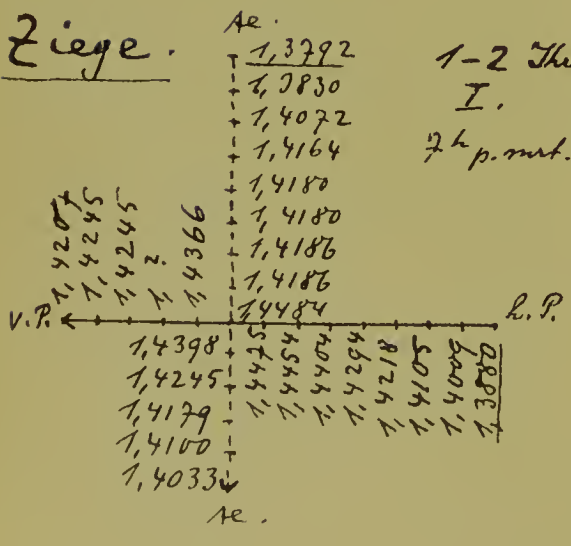


25. Ziege, 6–8 Woch.
II. 6½ h p. mrt.

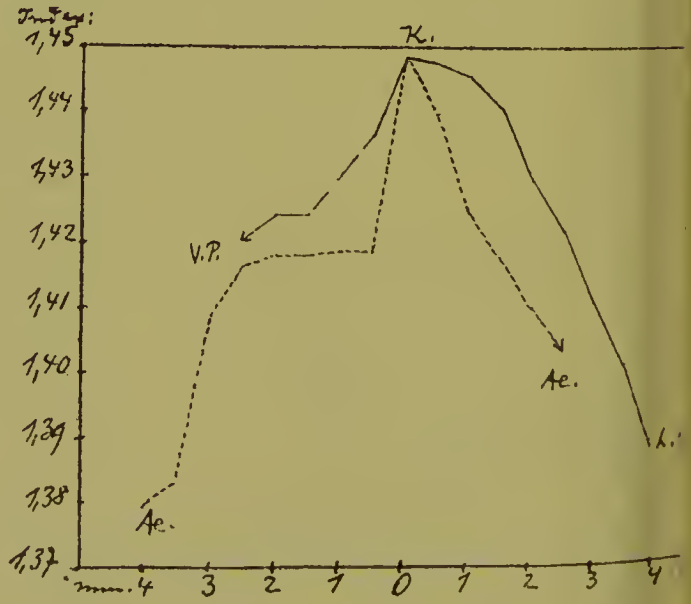


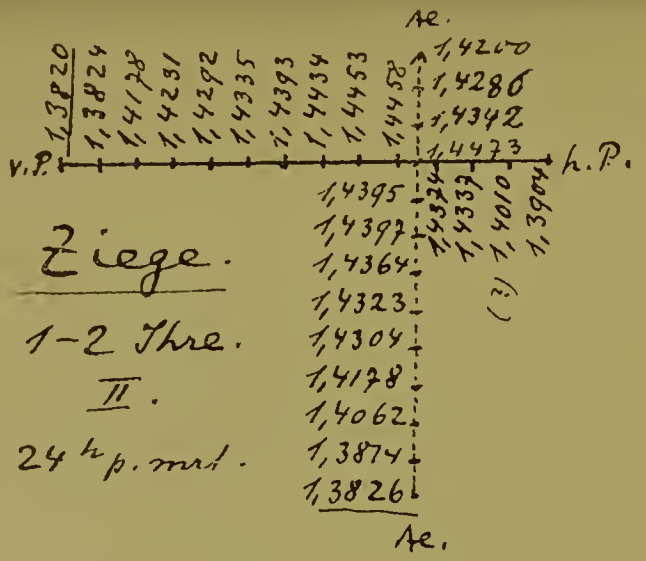


26. Ziege.



1–2 Thee.
I.
7 h p. mrt.



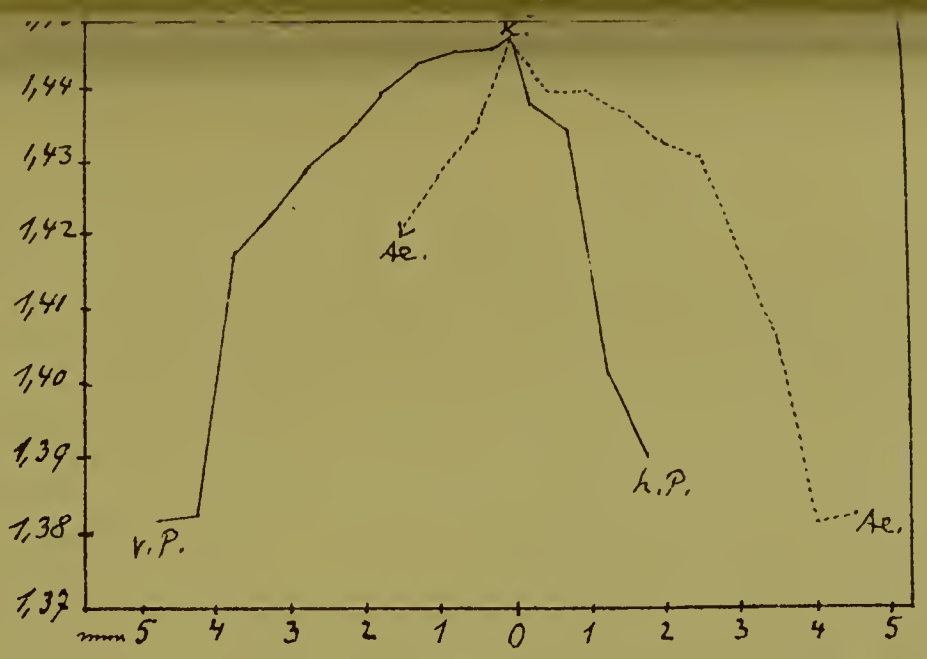


Ziege.

1-2 Thre.

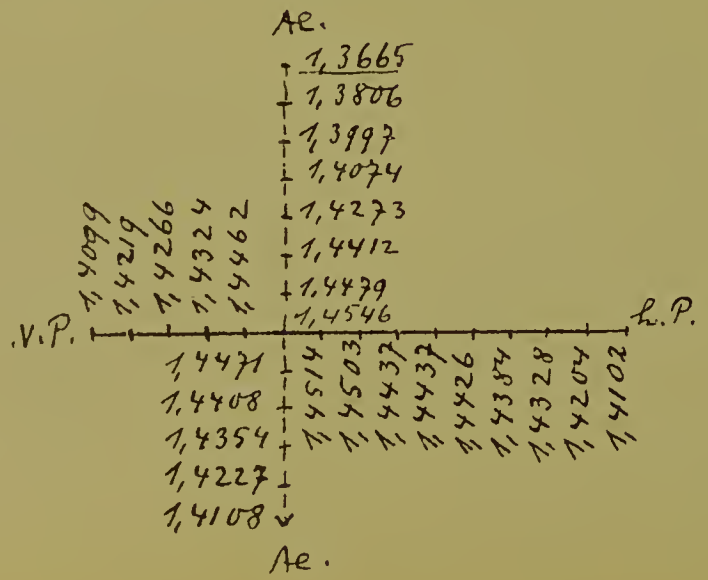
II.

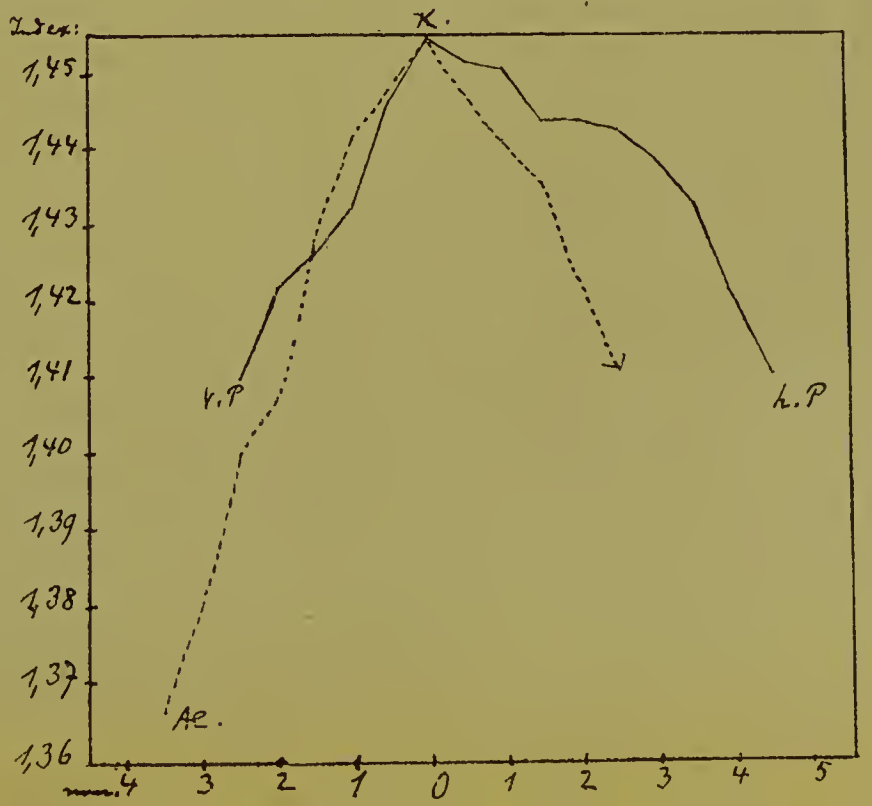
24 h p. mrd.



28. Ziege, 3-4 Jahre.

I. 2½ h p. mrd.

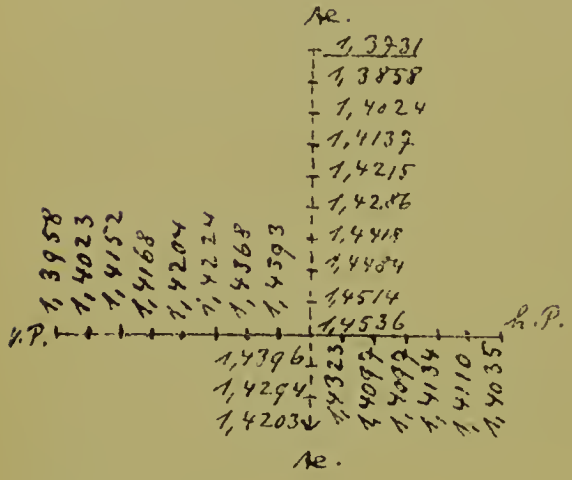


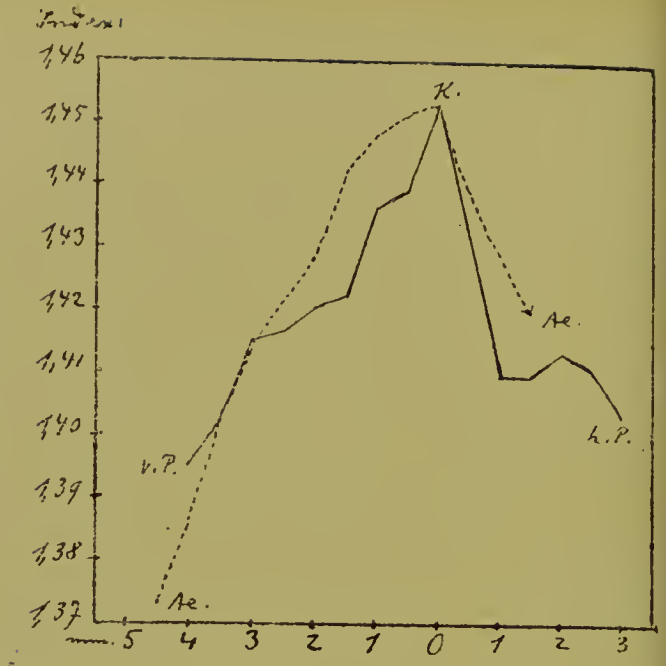


IX.

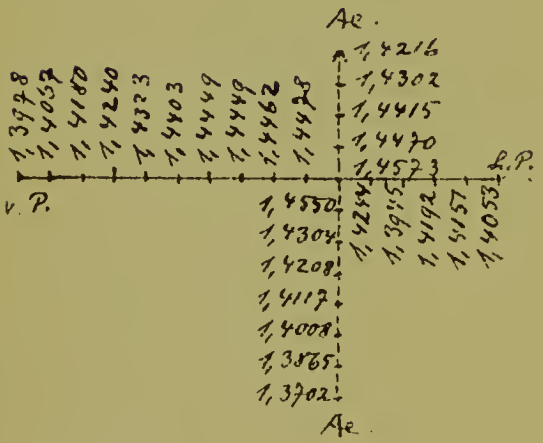
X.

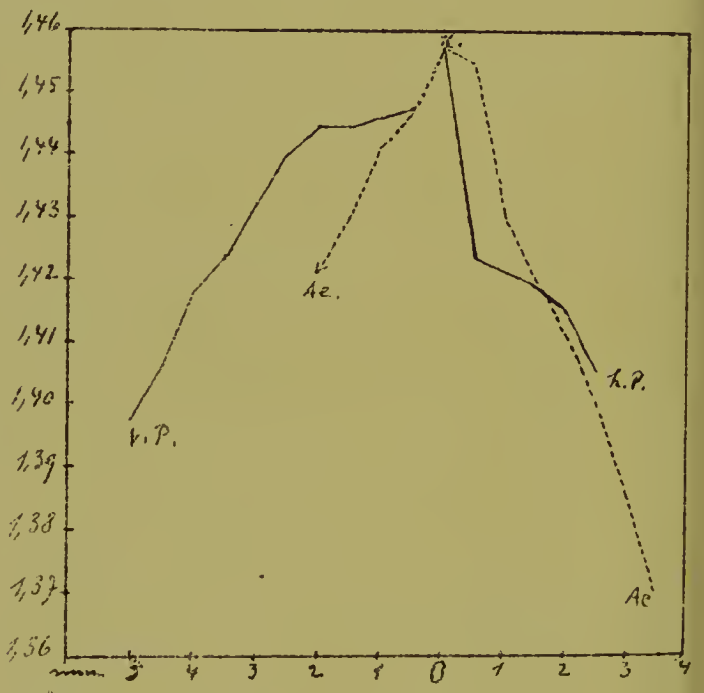
29. Ziege, 3–4 Jahre,
II. 3 h p. mort.



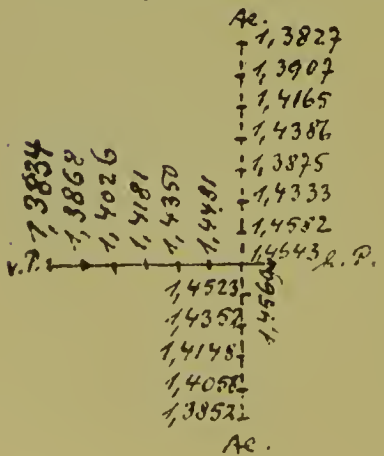


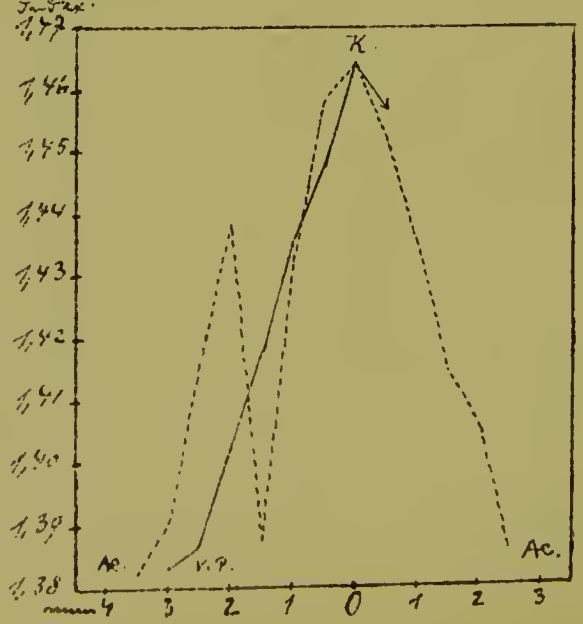
30. Ziege, 5–6 Jahre,
6 h post mort.





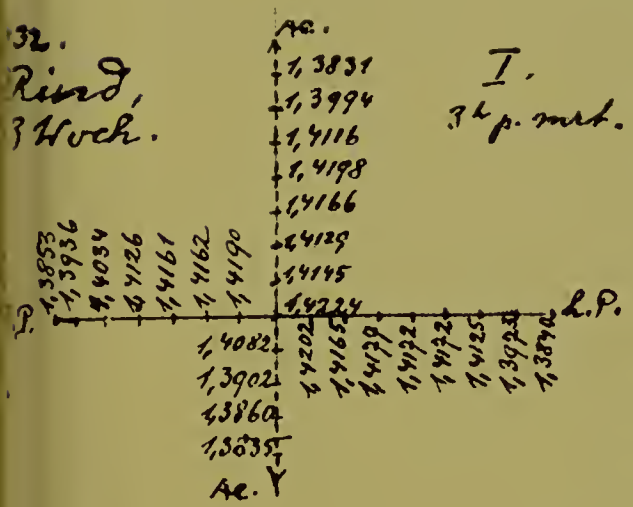
31. Ziege, 8 Jahre,
3 h p. mort.

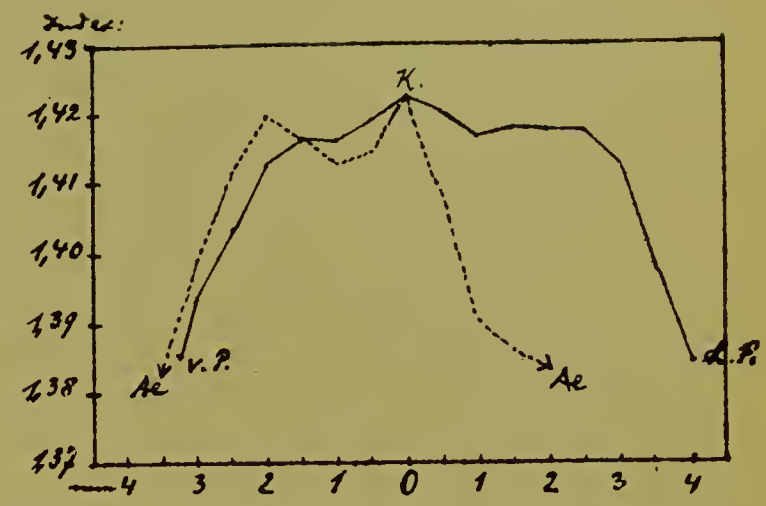




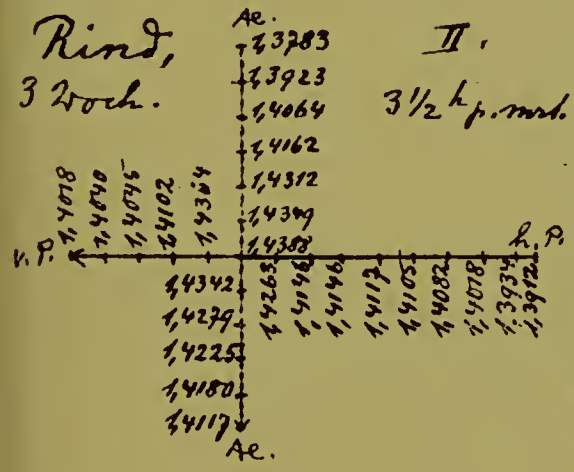
XI.

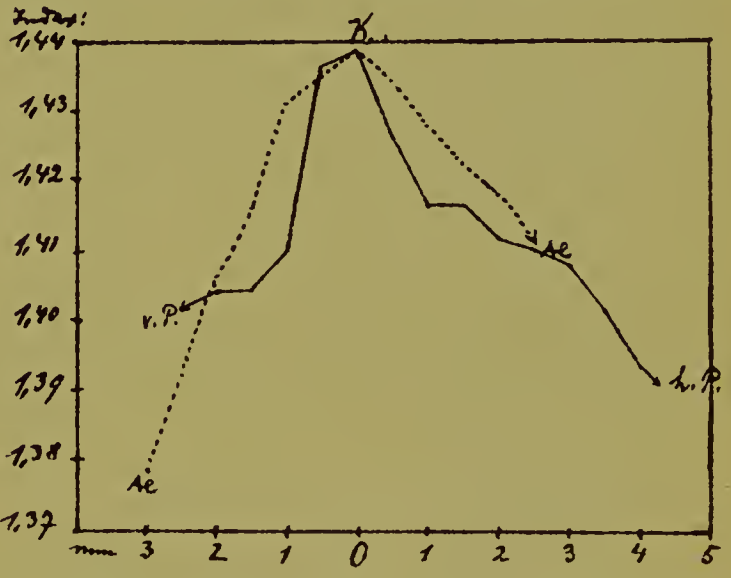
32.
Rind,
3 Woch.





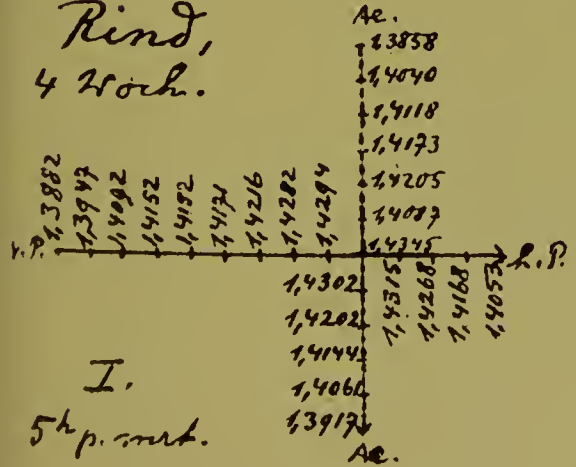
33.
Rind,
3 Woch.

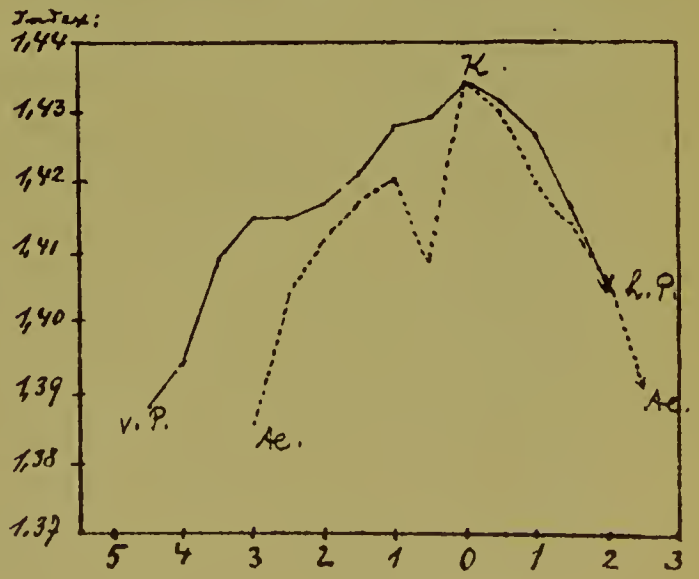




34

Rind,
4 Woch.





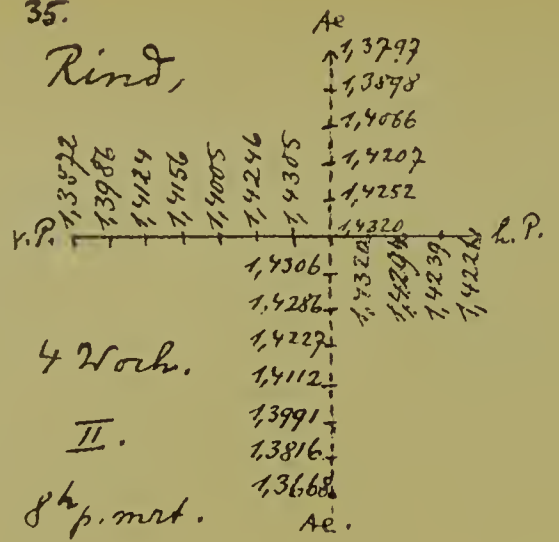
35.

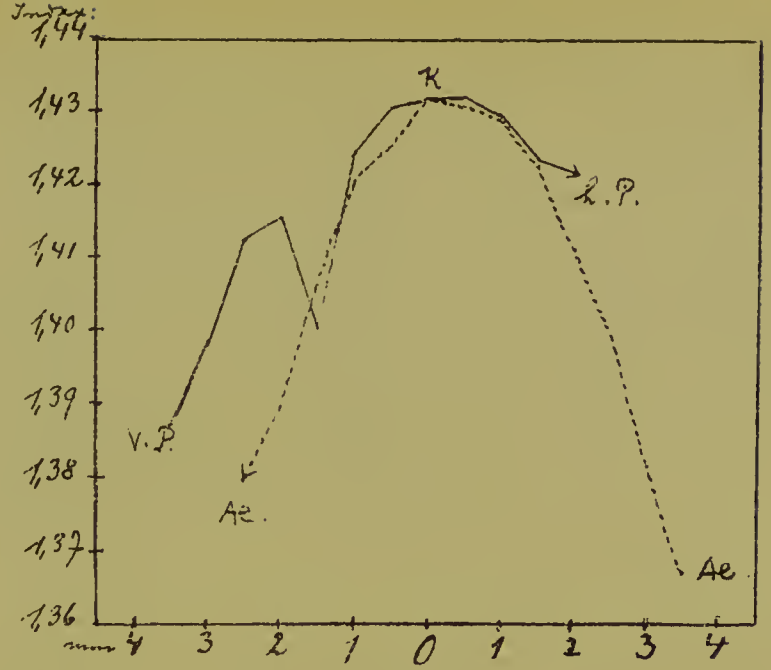
Rind,

4 Woch.

II.

8 h p. mrt.



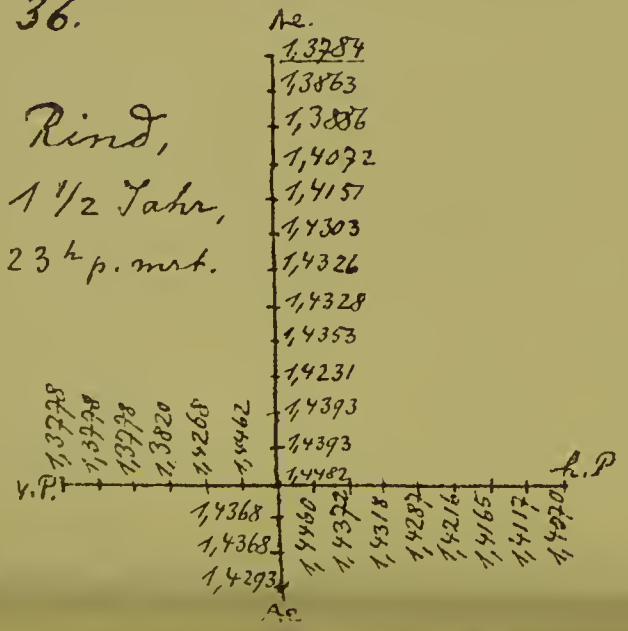


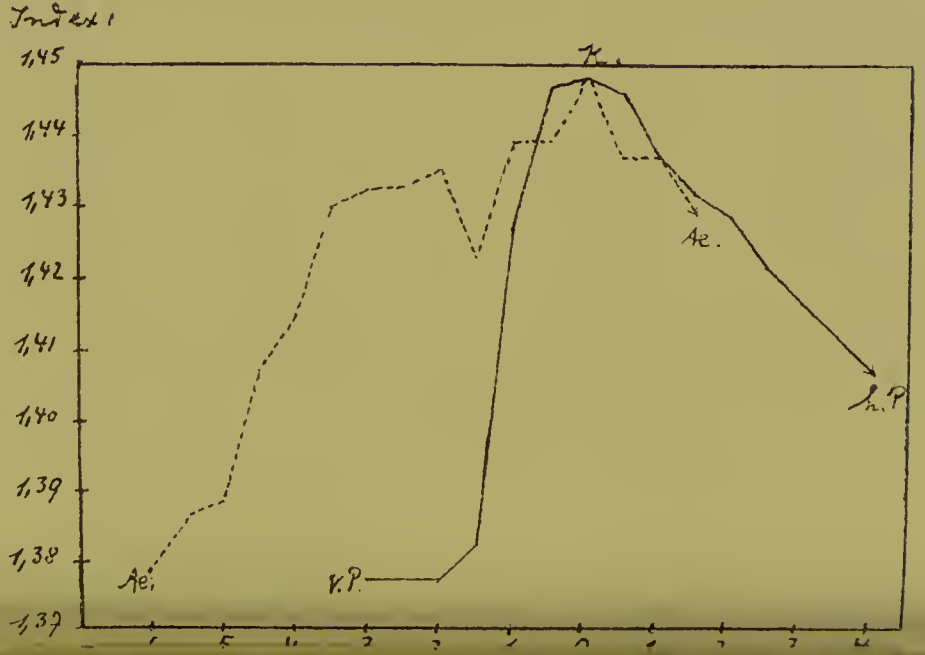
36.

Rind,

1 1/2 Jahr,

23 h p. mrt.

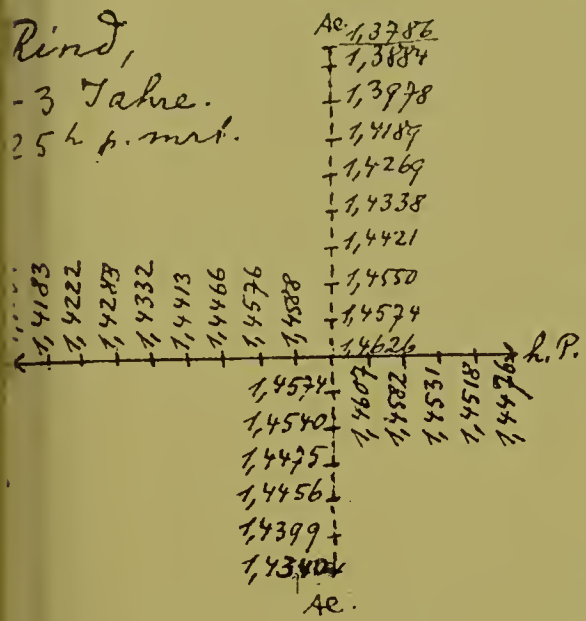


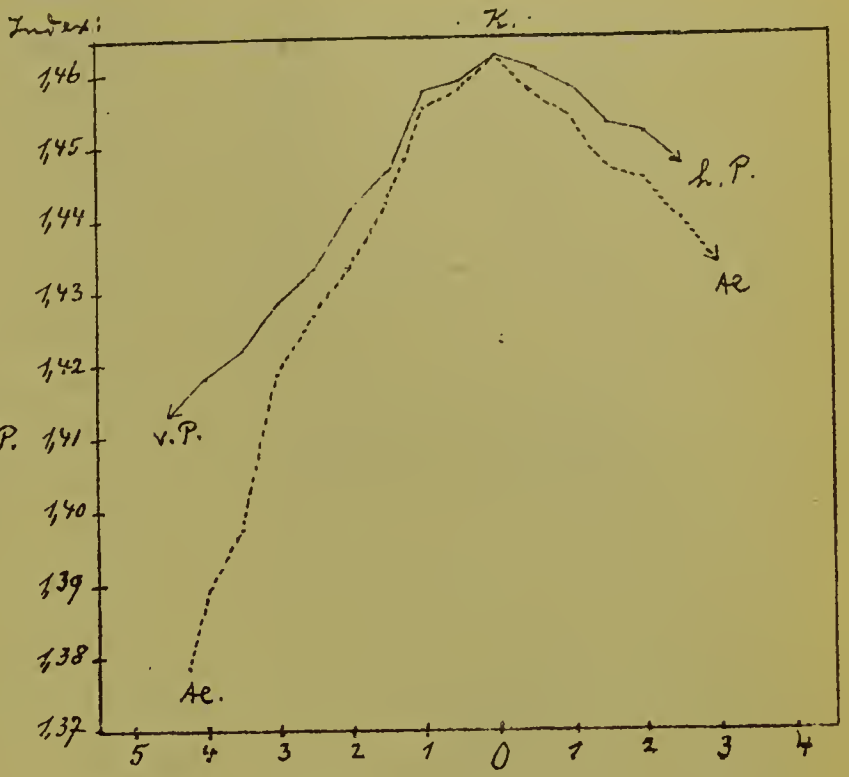


XII.

7.

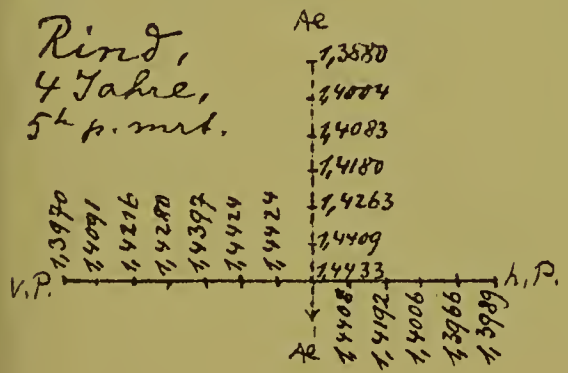
Rind,
-3 Jahre.
25 h p. mrt.

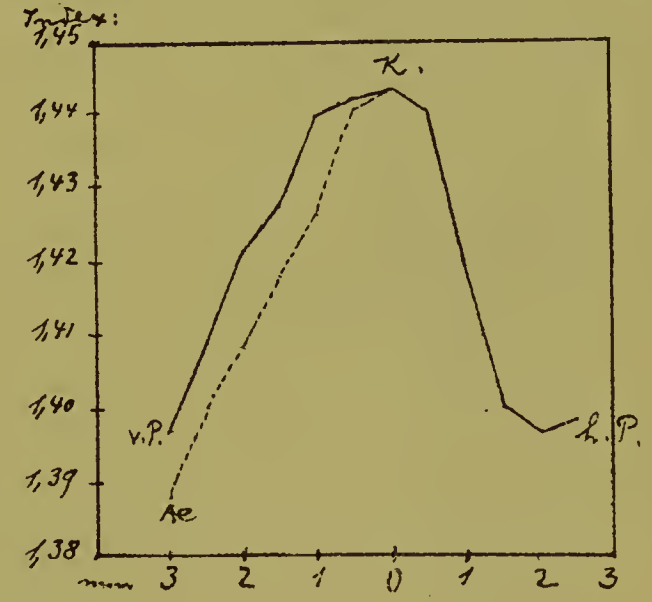




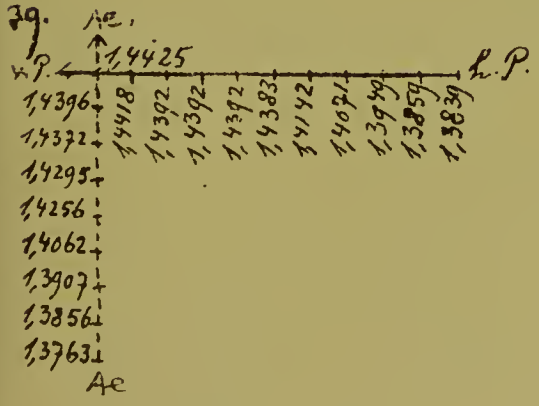
38.

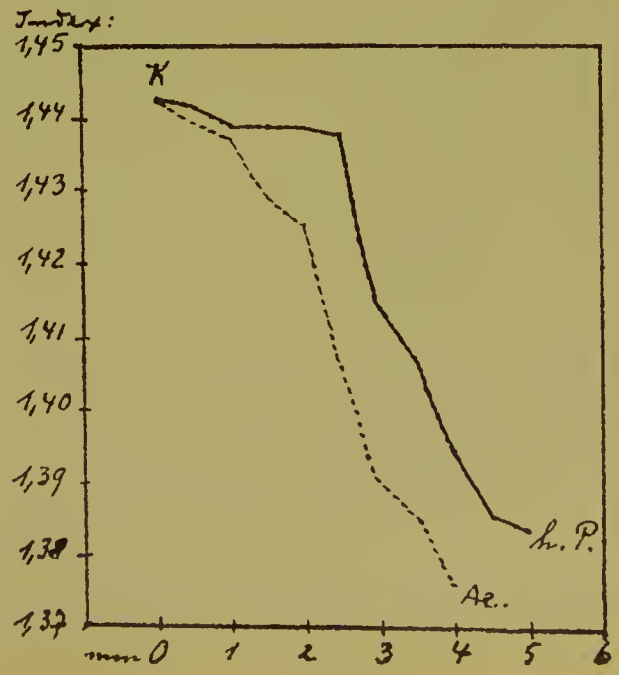
Rind,
4 Jahre,
5 h p. mrt.





39.

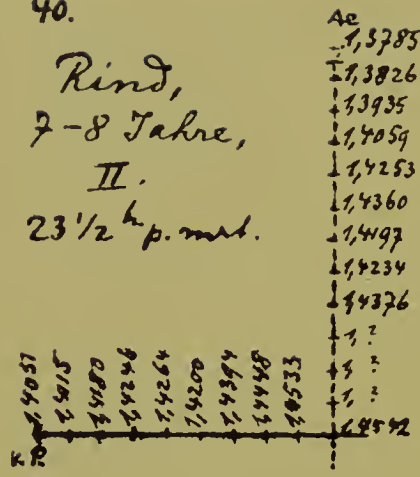


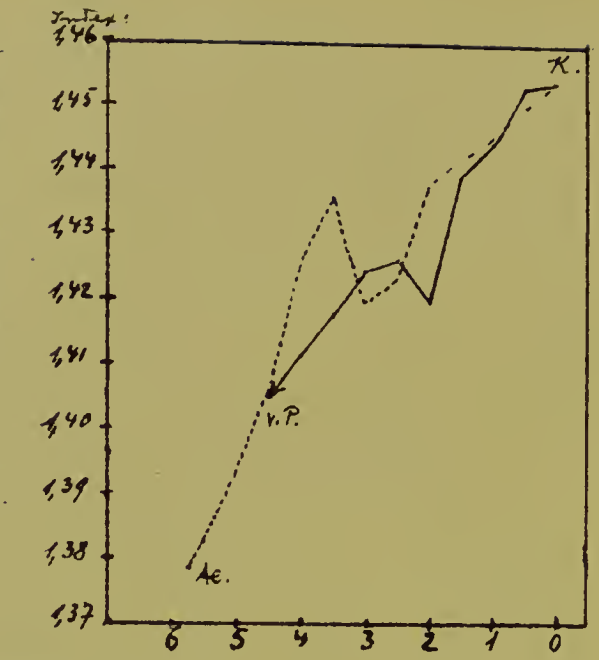


Rind,
7–8 Jahre.
I. 23 h p. mrt.

40.

Rind,
7–8 Jahre,
II.
23 1/2 h p. mrd.

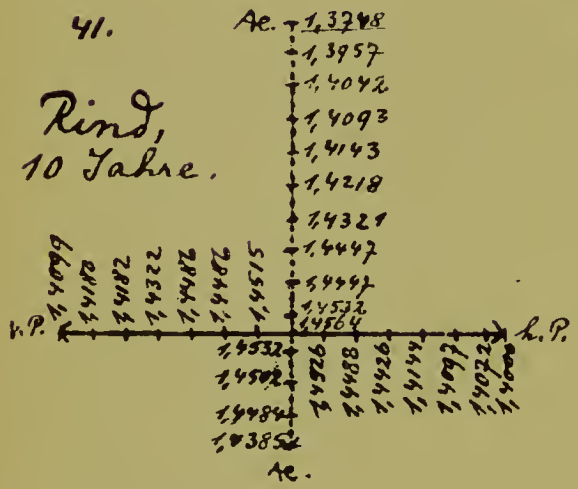


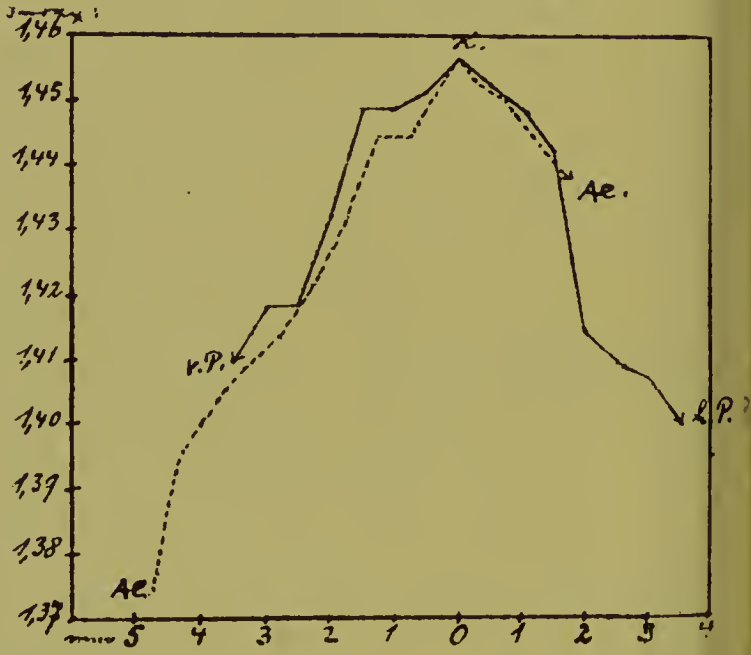


41.

Rind,
10 Jahre.

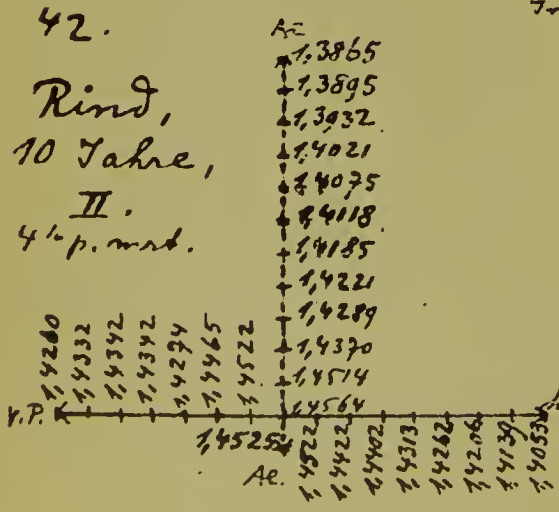
I.
1 1/2 h p. mrd.

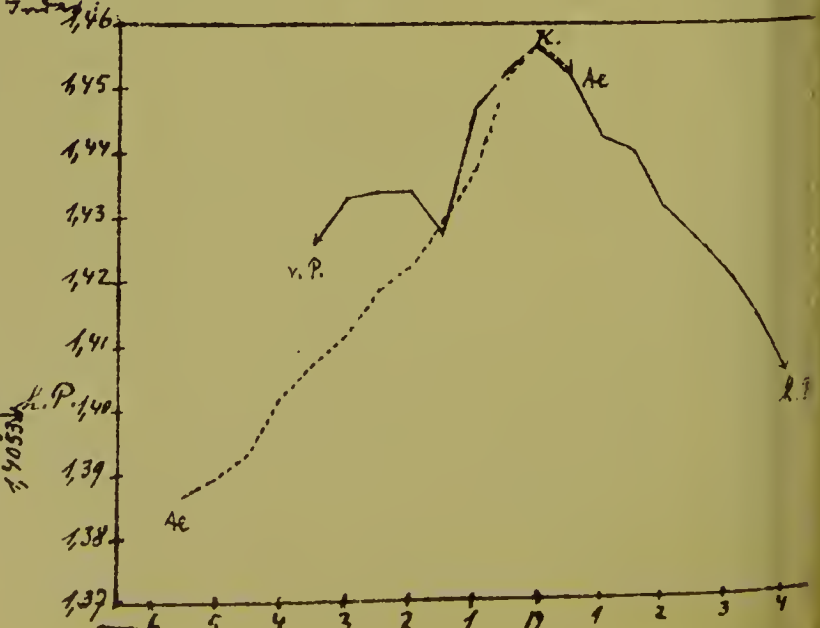




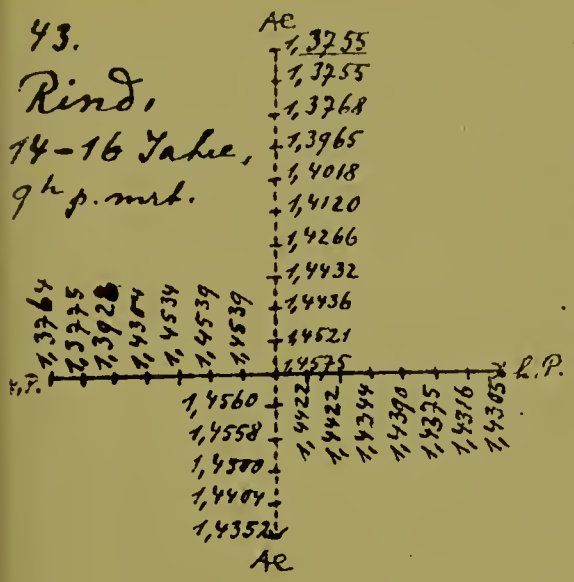
42.

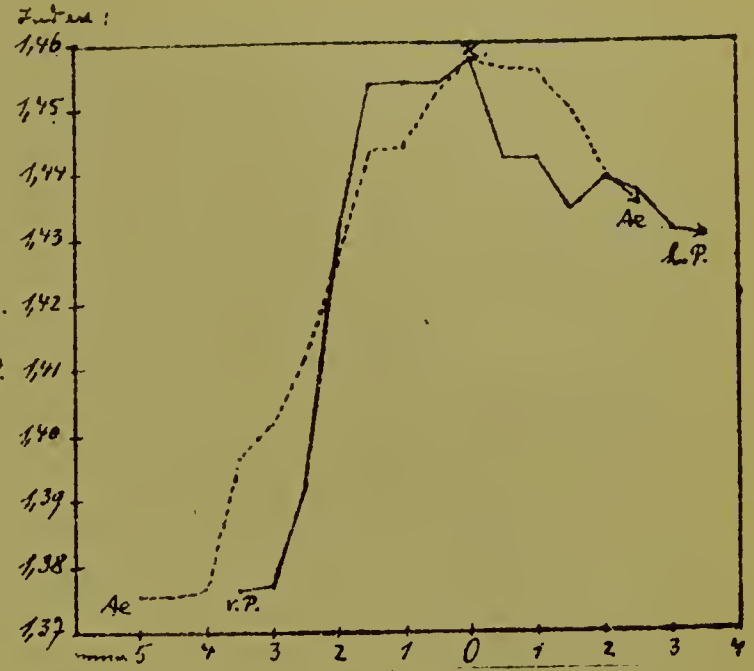
Rind,
10 Jahre,
II.
4 1/2 h p. mrd.



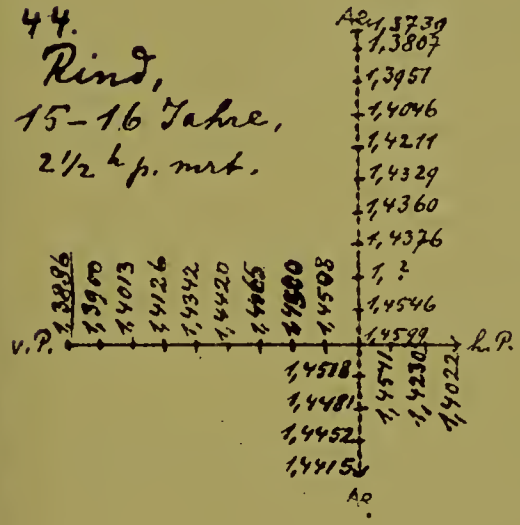


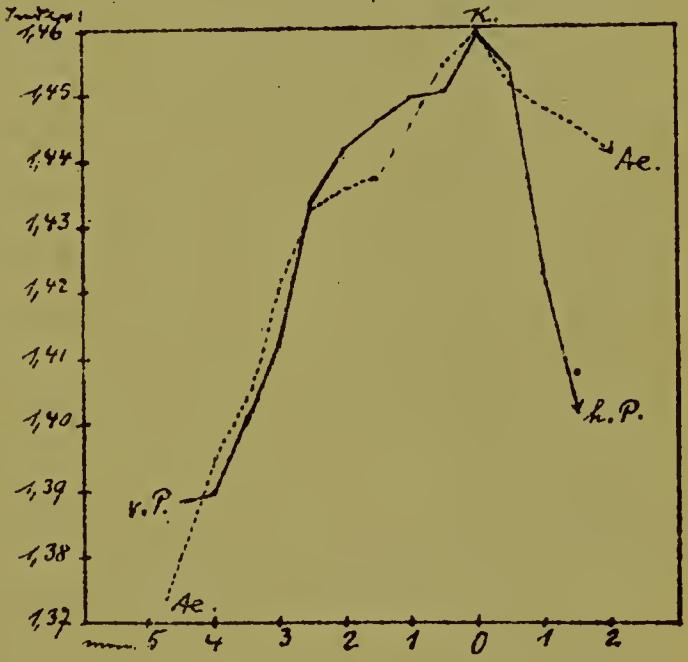
43.
Rind,
14–16 Jahre,
9 h p. mrt.



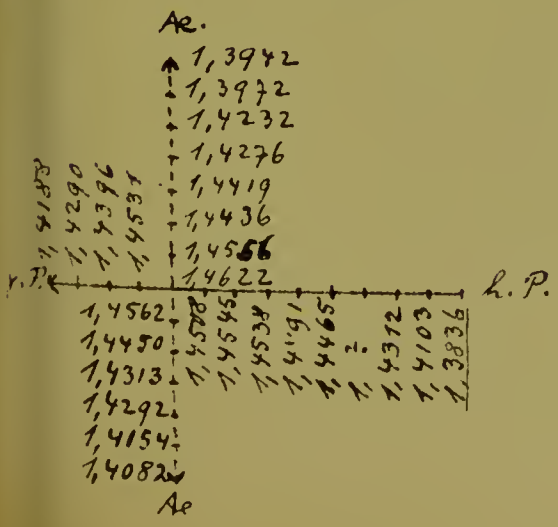


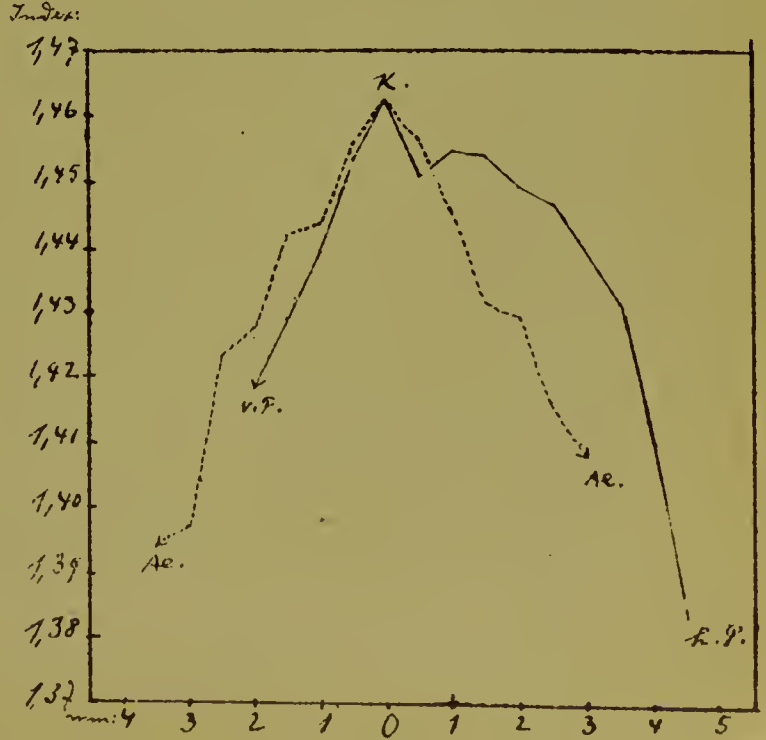
44.
Rind,
15–16 Jahre,
2½ h p. mrt.





45. Rind, 16 Jahre,
3 h p. mrt.



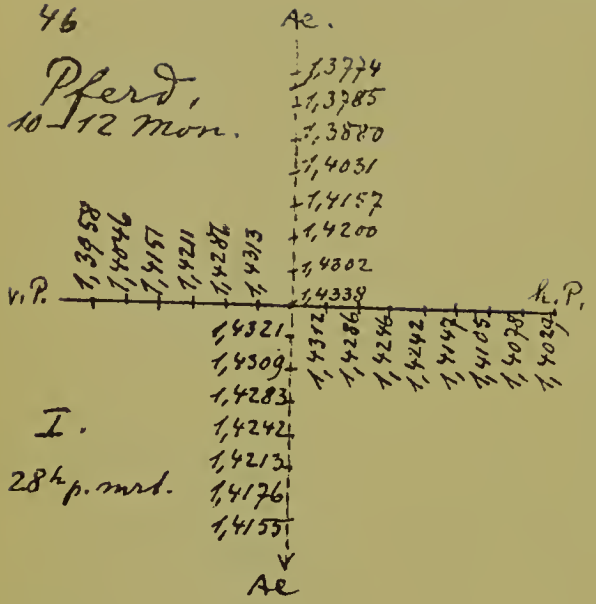


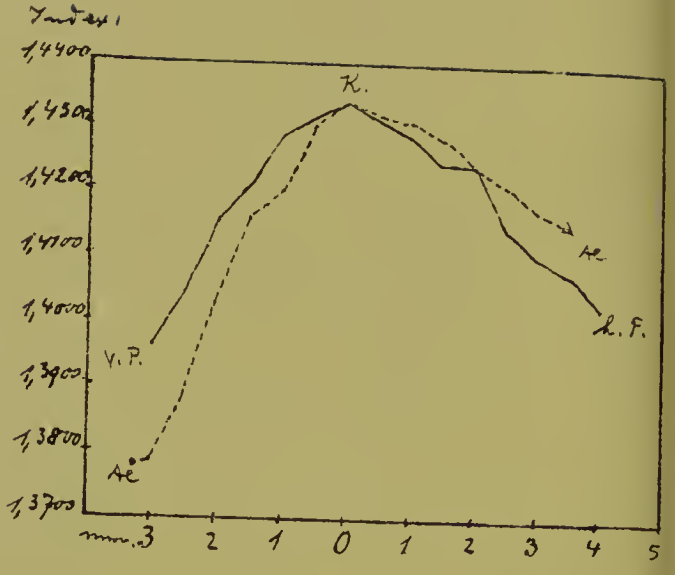
XVI.

46

Pferd,
10–12 Mon.

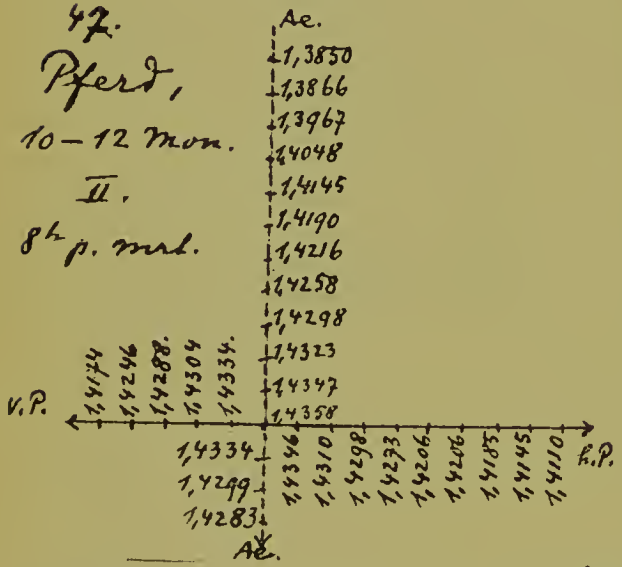
I.
28h p. mrt.

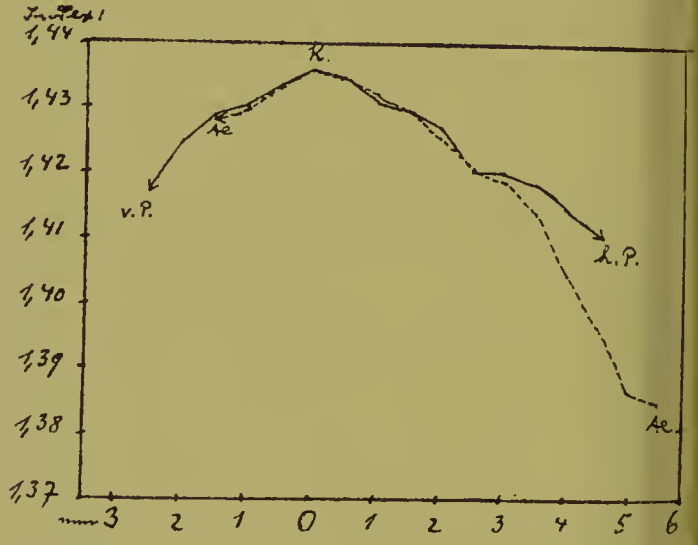




47.

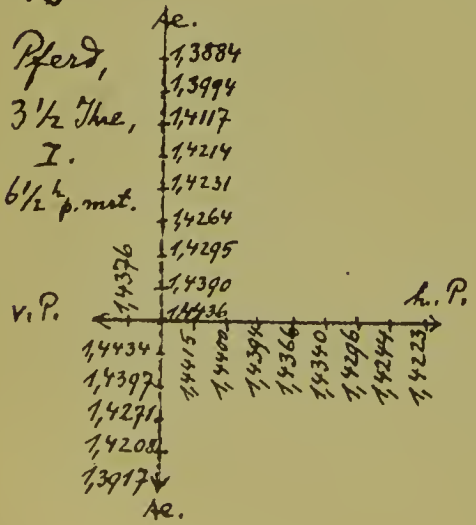
Pferd,
10–12 Mon.
II.
8h p. mrt.

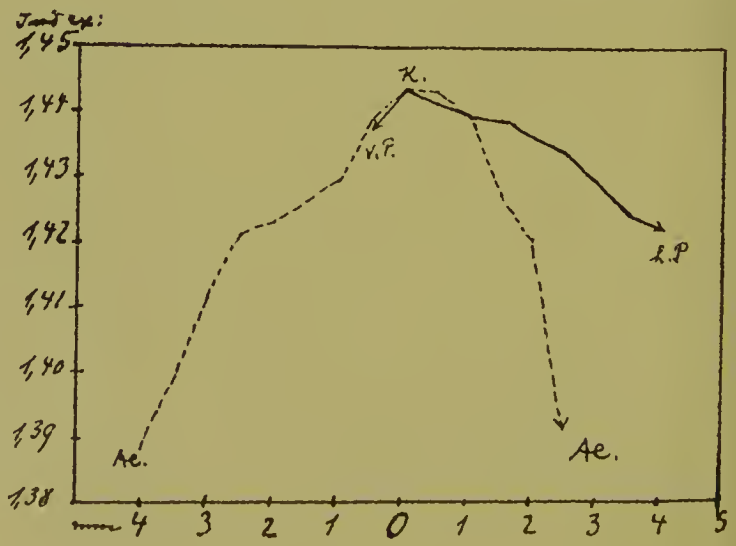




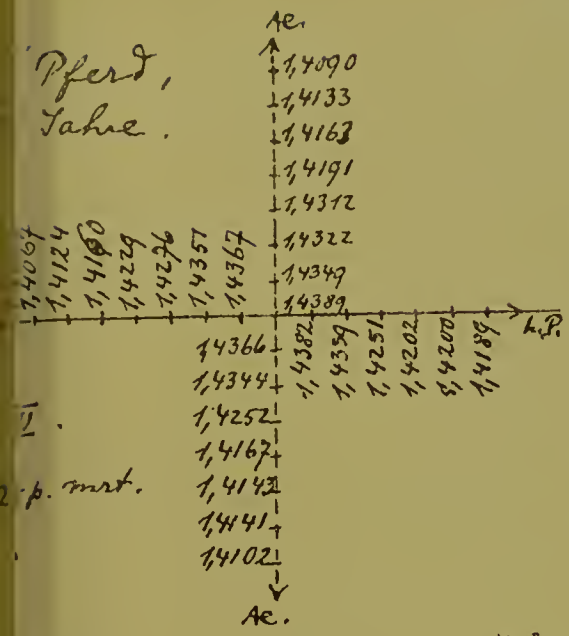
48.

Pferd,
3½ Thre,
I.
6½h p. mrt.

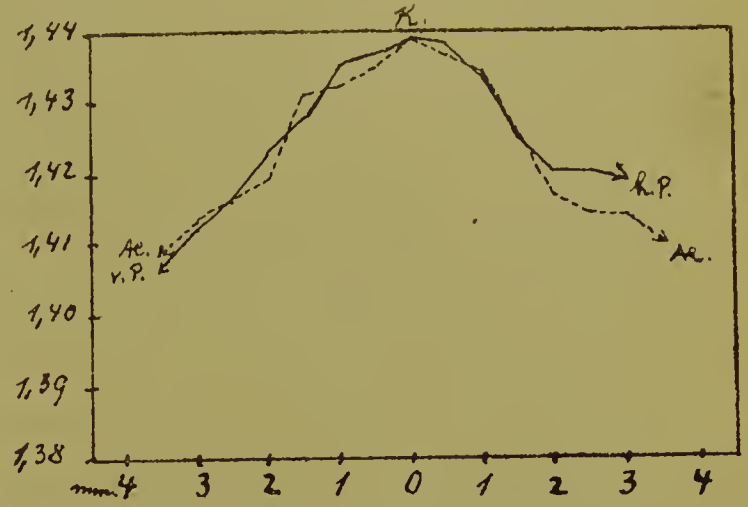




Pferd,
Jahre.

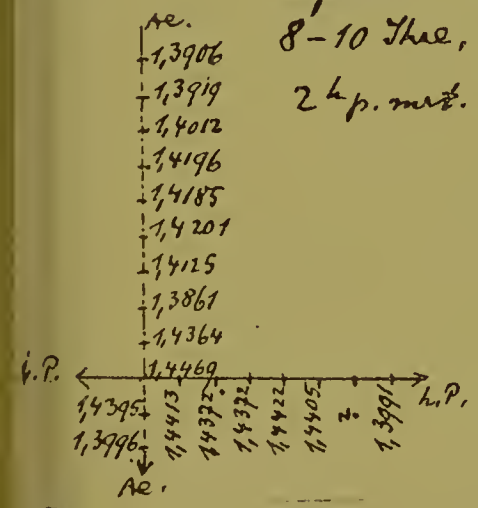


Index:

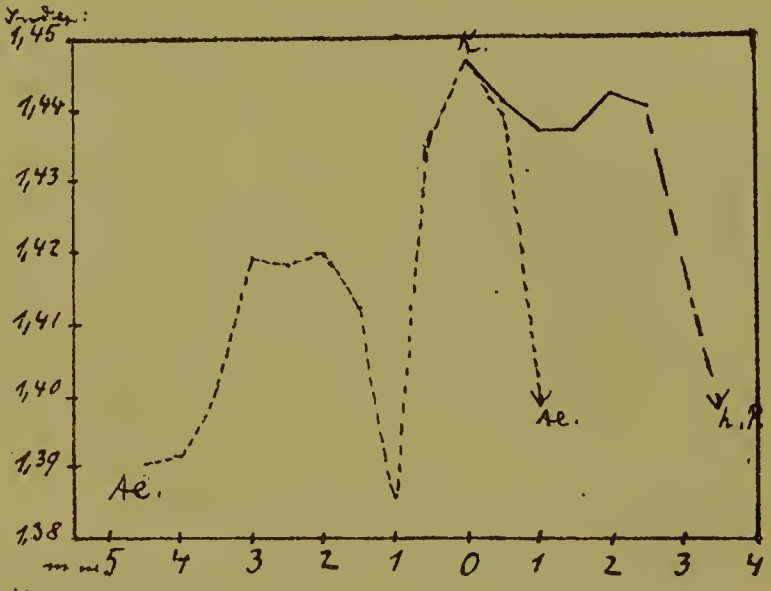


50.

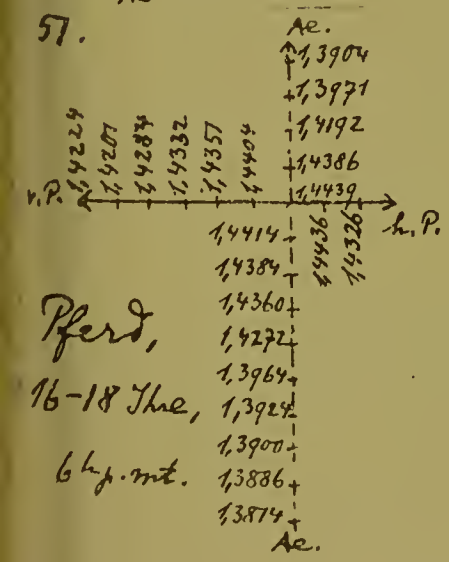
Pferd,
8–10 Jhre,
24 p. mrt.



Index:

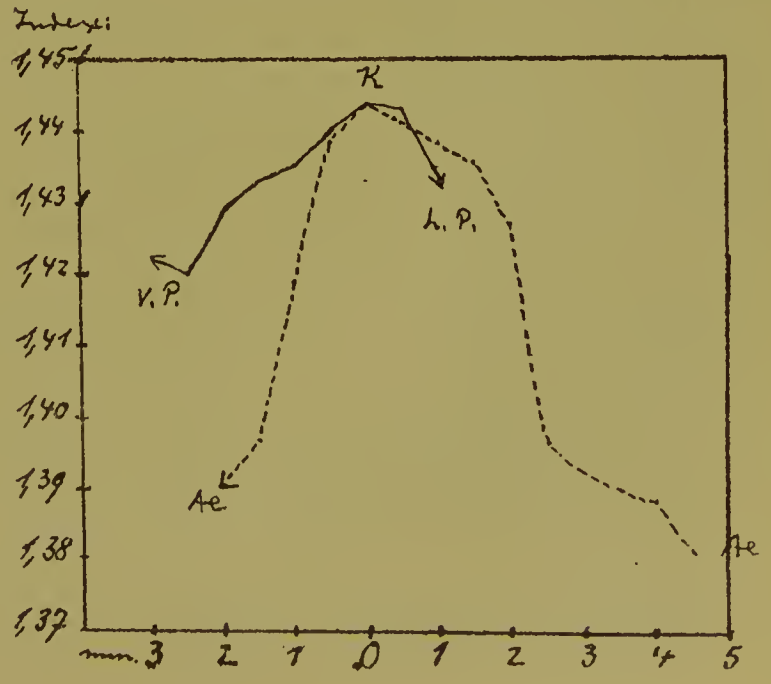


51.



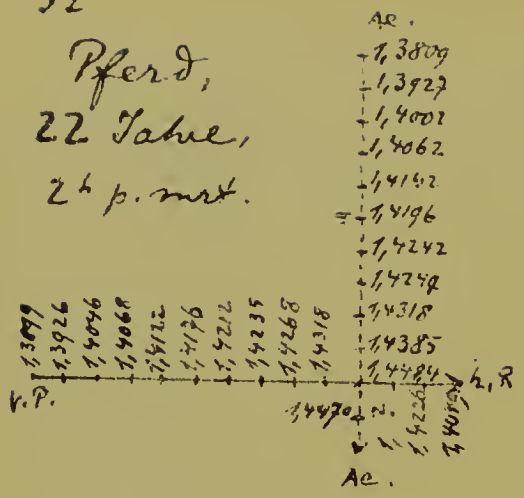
Pferd,
16–18 Jhre,
6 p. mt.

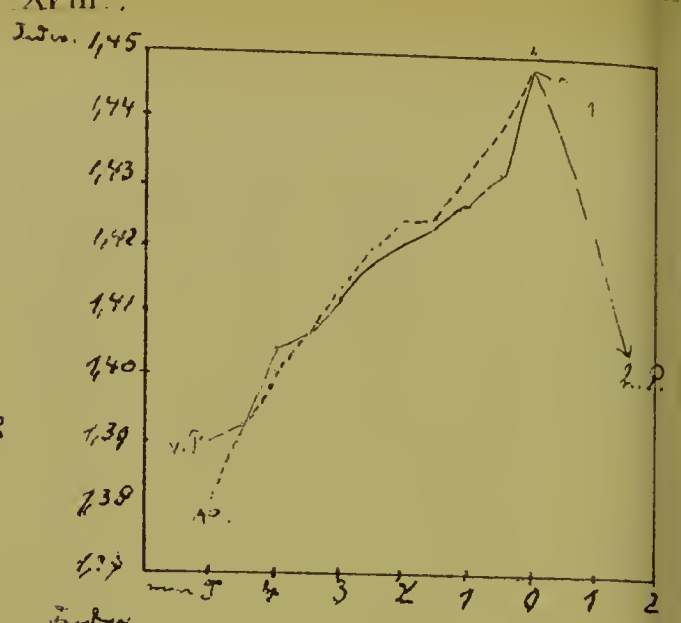
Index:



52

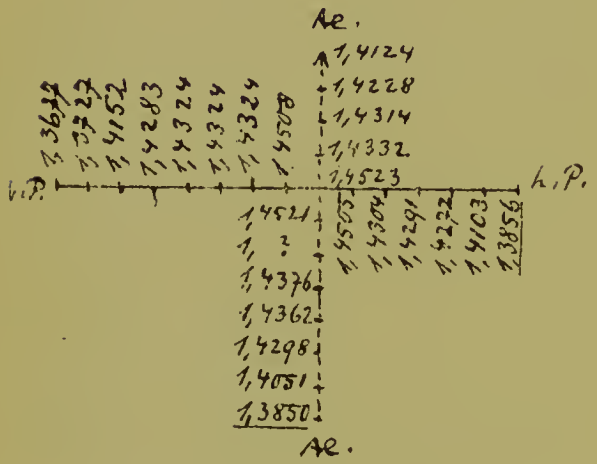
Pferd,
22 Jahre,
2 h p. mrt.

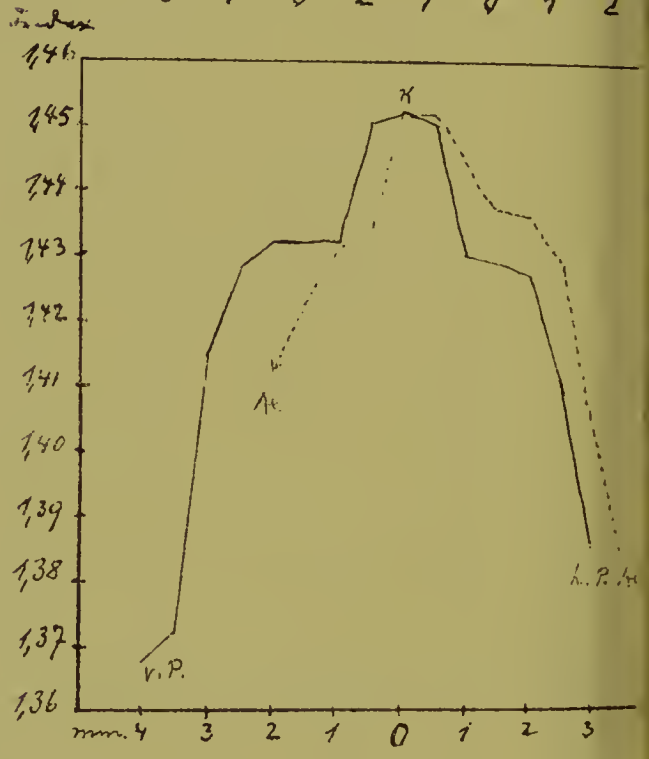




53. Hund (Bernhardiner).

1 1/4 Jahr, 4 1/2 h p. mrt.

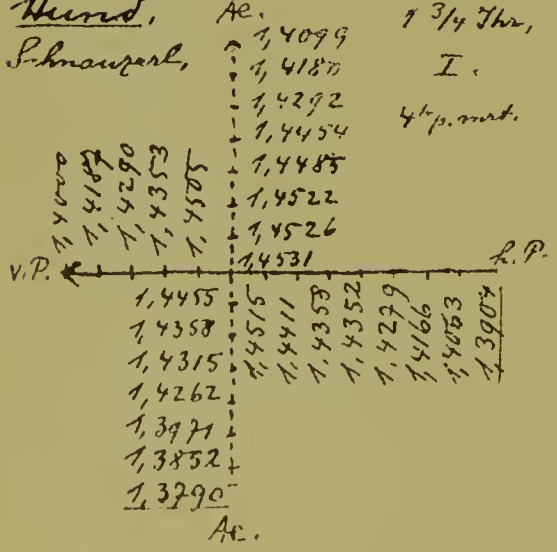


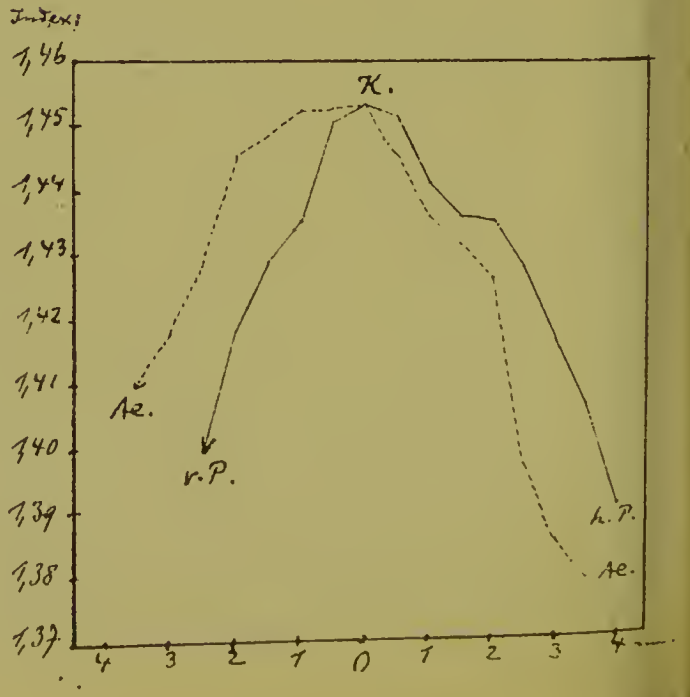


54.

Hund,
Schnauzer,

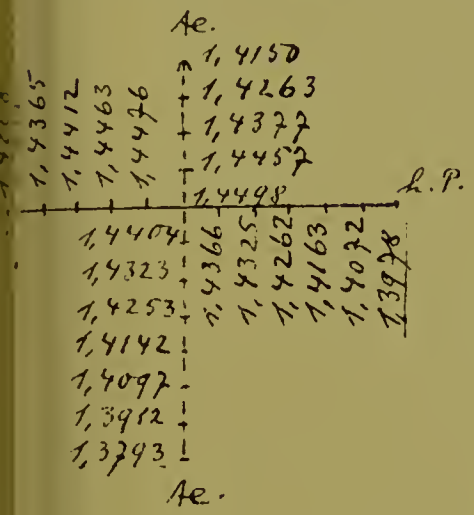
1 3/4 Jhr,
I.
4 h p. mrt.

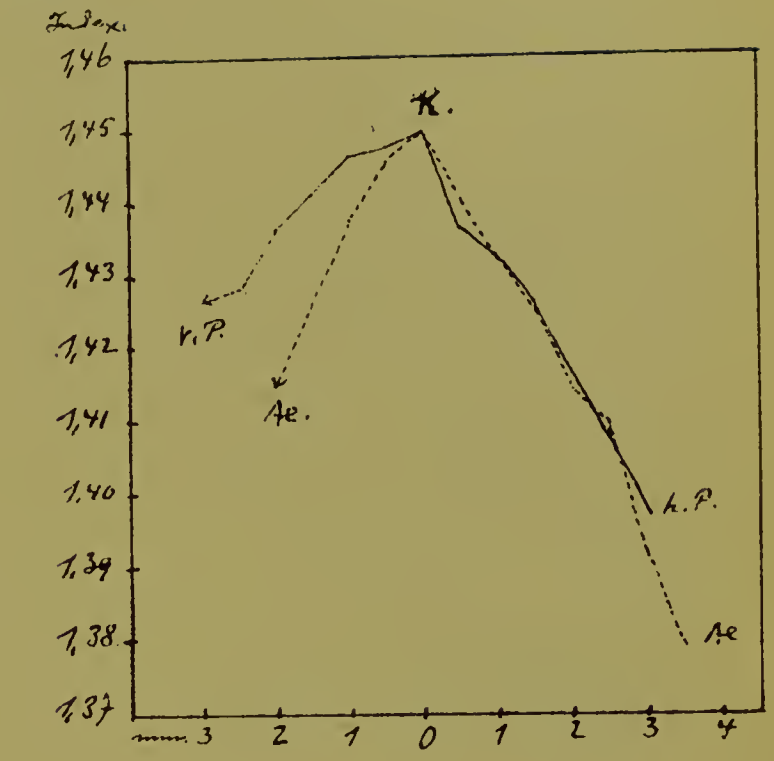


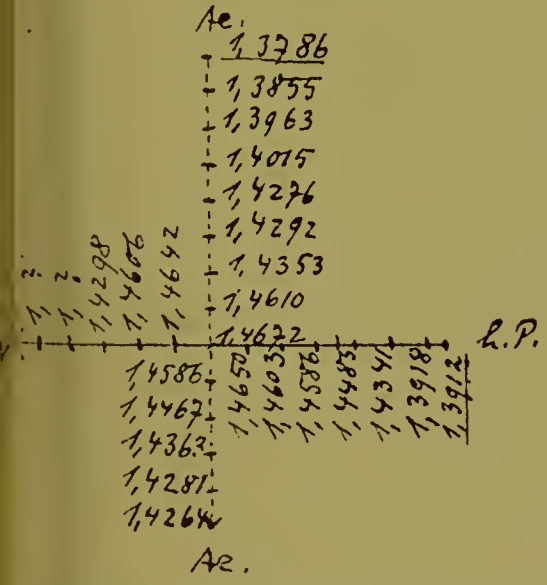


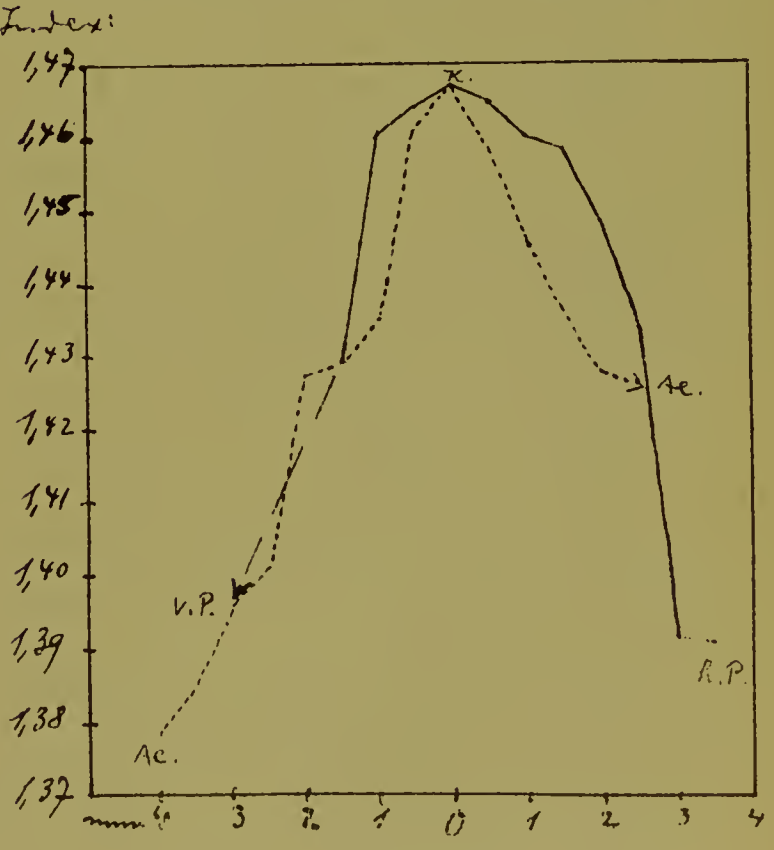
XIX.

Hund, Schnauzer,
1 3/4 Jhr., II. 4½ p. mt.









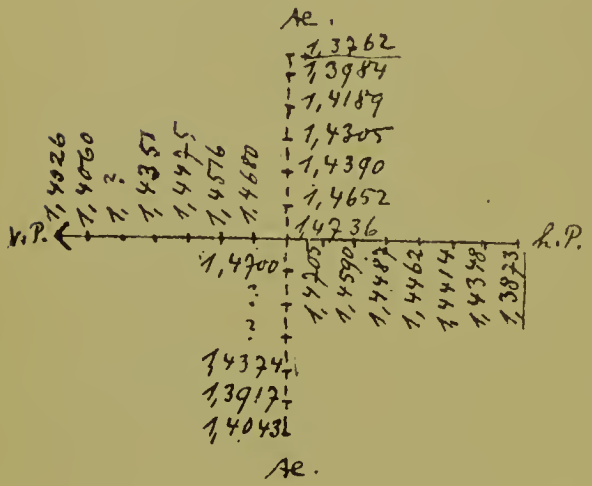
Hund, russ. Bärenhund,
½ Jhr. I. 2 4 p. mt.

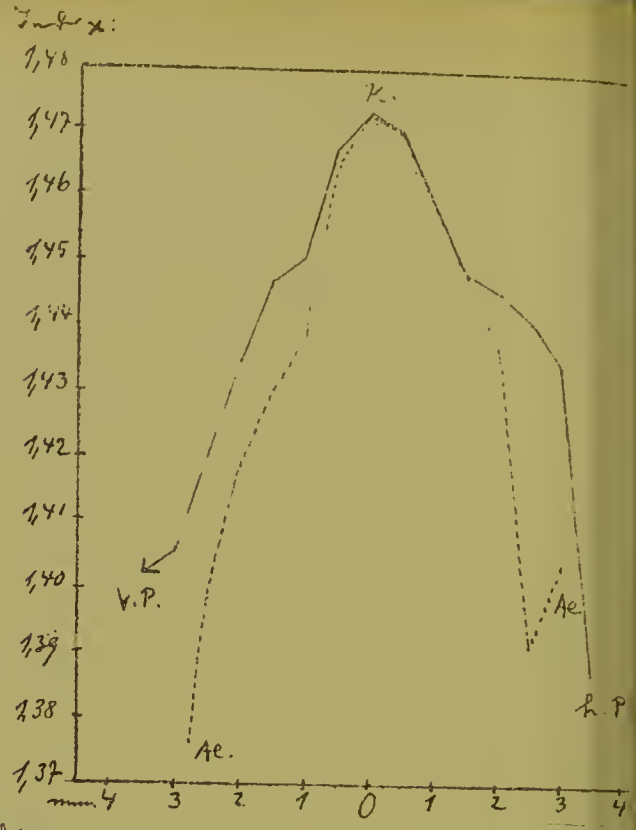
57.

Hund, russ. Bärenhund,

3 1/12 Jahre.

II. 24 h p. mort.

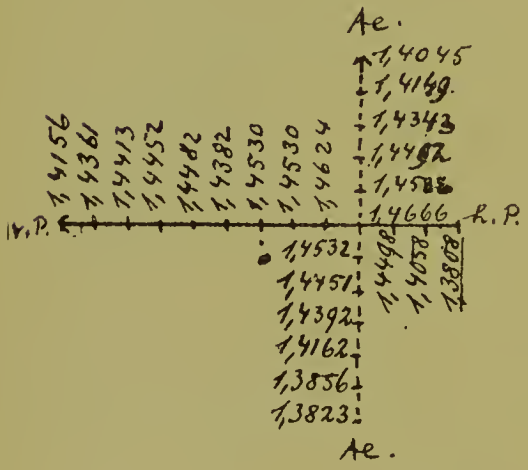


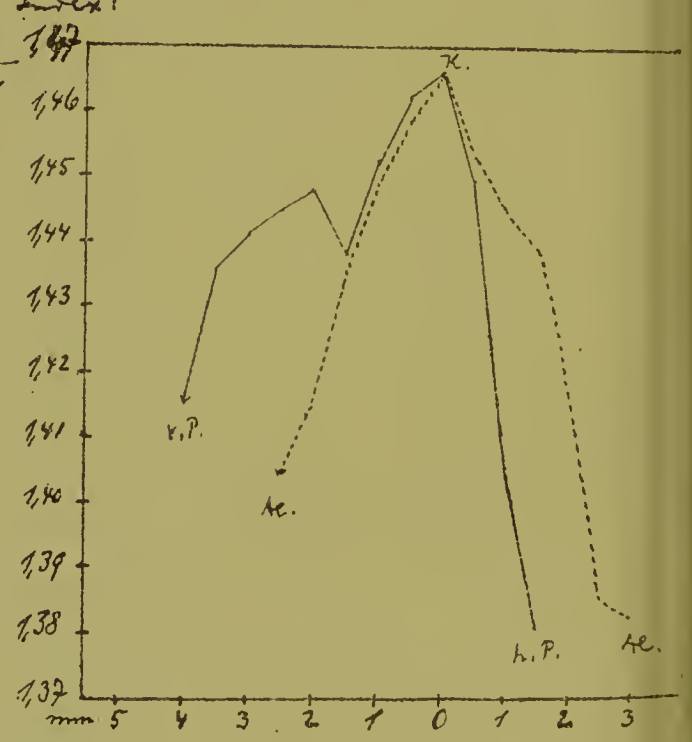


58. Hund,

Schottischer Hofhund,

15 Jahre, 2 h p. mort.



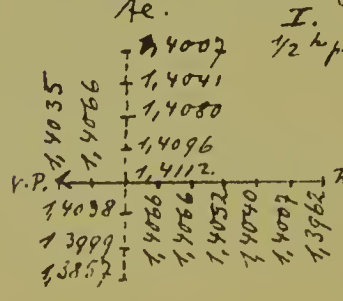


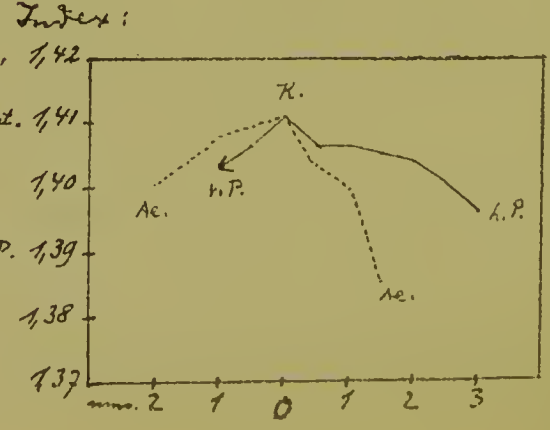
59. Affe,

Husarenaffe, jung,

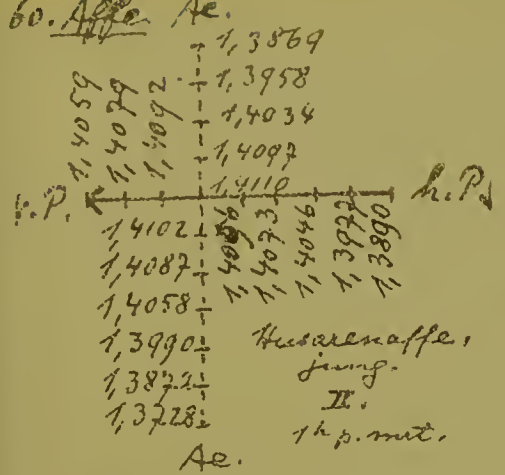
I.

1/2 h p. mt.

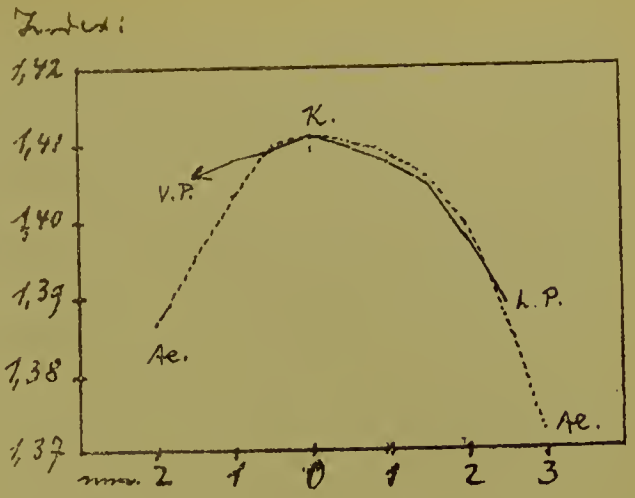




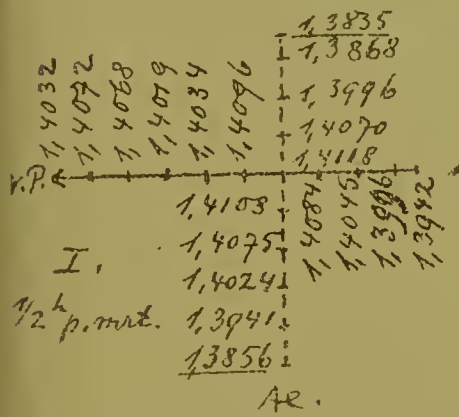
60. Affe Ae.



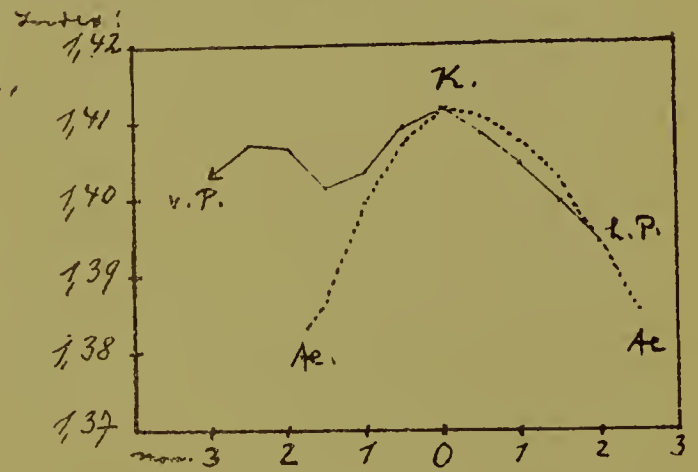
Husarenaffe, jung. II. 1 h p. mit. Ae.



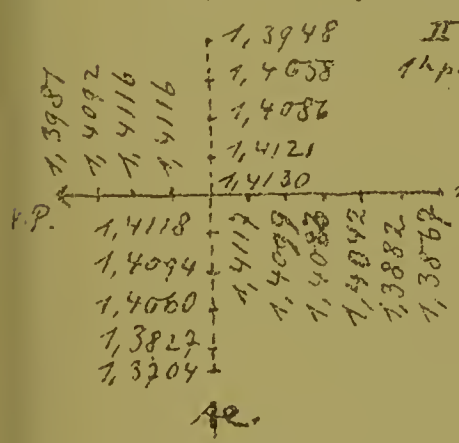
61. Affe, Rhesus, Ae. ca 2 Jhre,



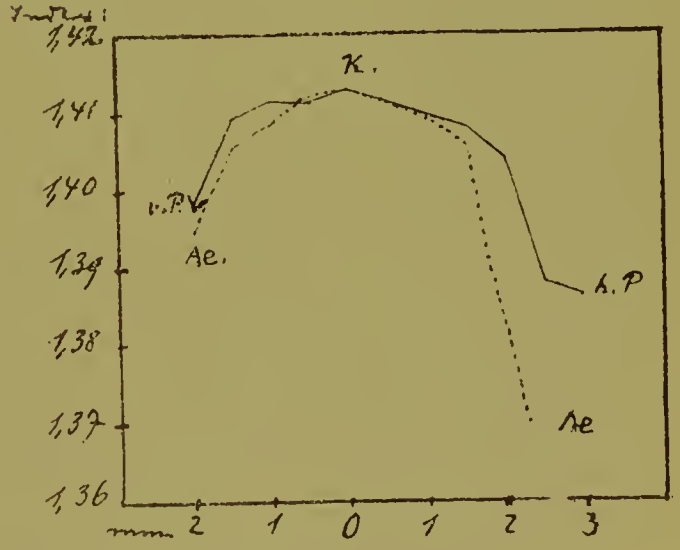
I. 1/2 h p. mit. Ae.



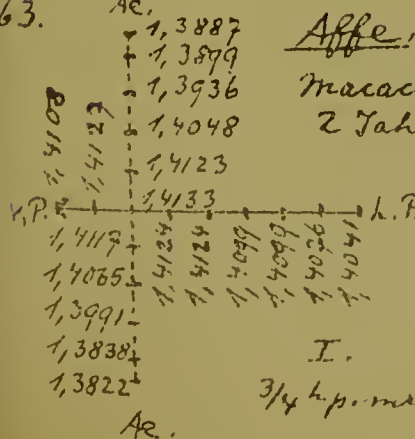
62. Affe, Rhesus, Ae. ca 2 Jhre,



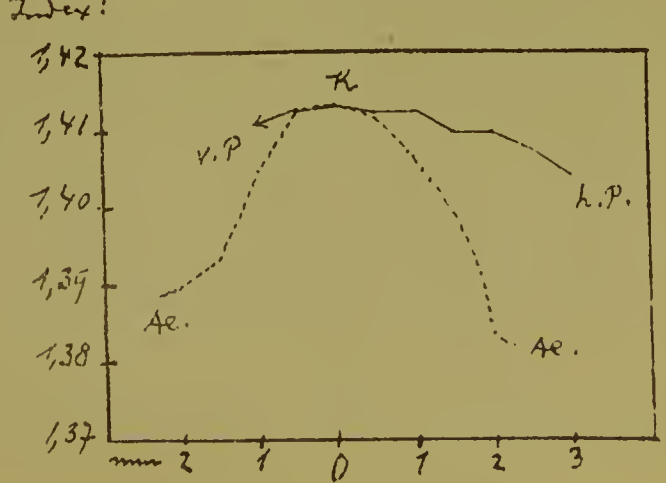
II. 1 h p. mit. Ae.



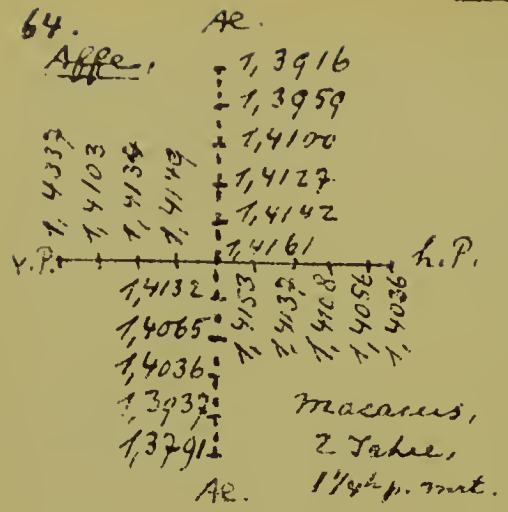
63. Affe, Macacus, 2 Jahre.



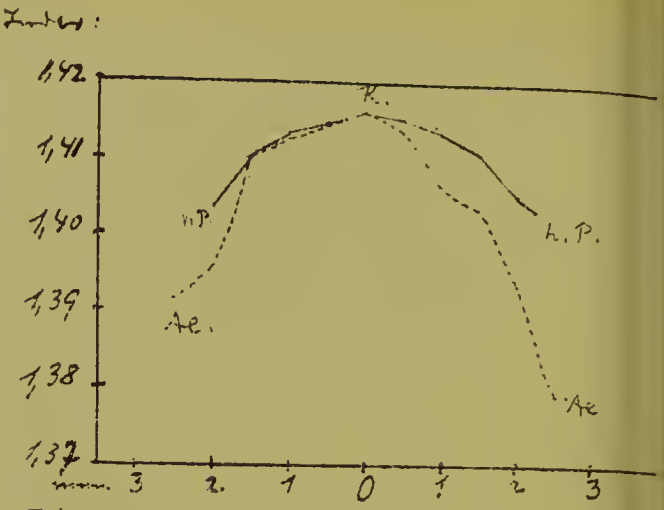
I. 3/4 h p. mit. Ae.



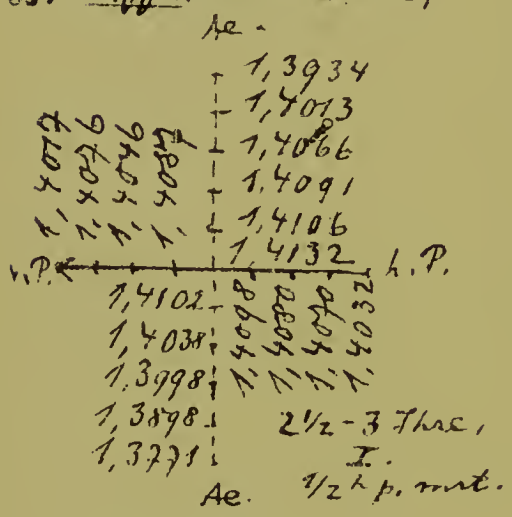
64. Affe.



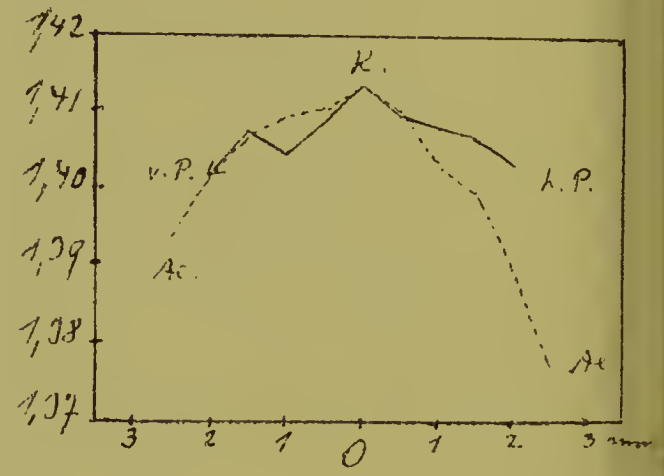
Macacus, 2 Jahre, 1¼h p. mrt.



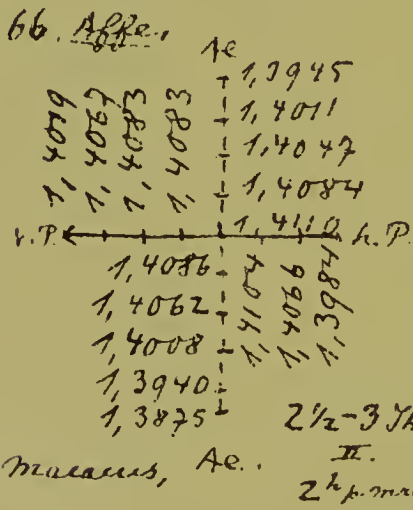
65. Affe. Macacus,



2½-3 Jhre, I. ½h p. mrt.

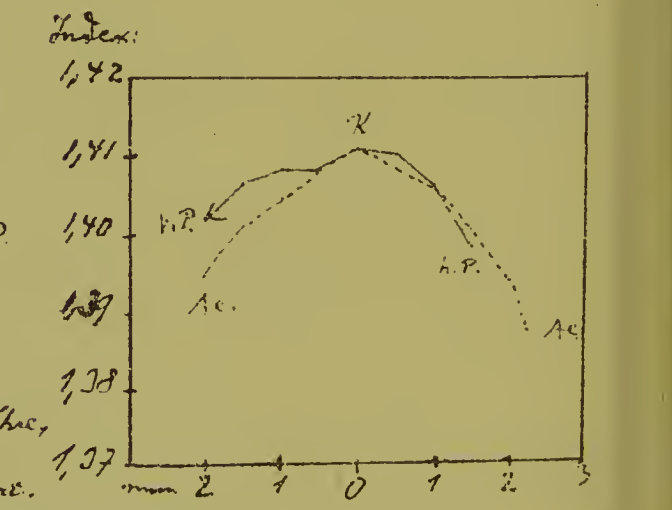


66. Affe.

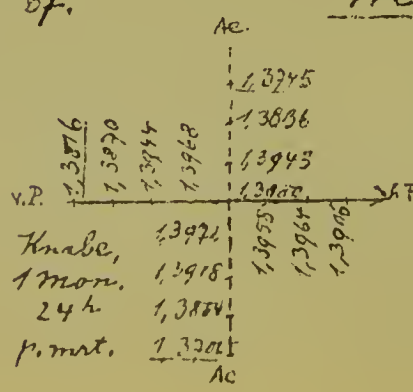


Macacus, Ae.

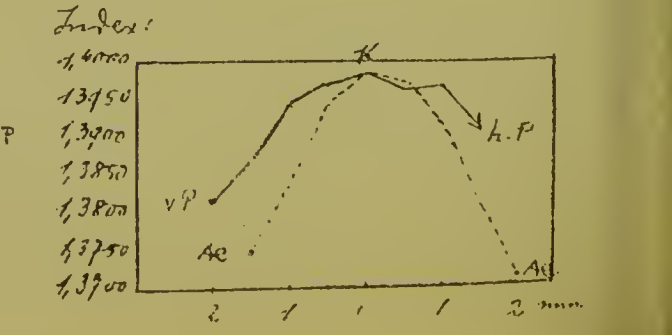
2½-3 Jhre, II. 2h p. mrt.



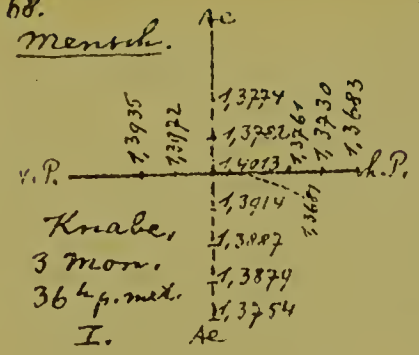
67. Mensch.



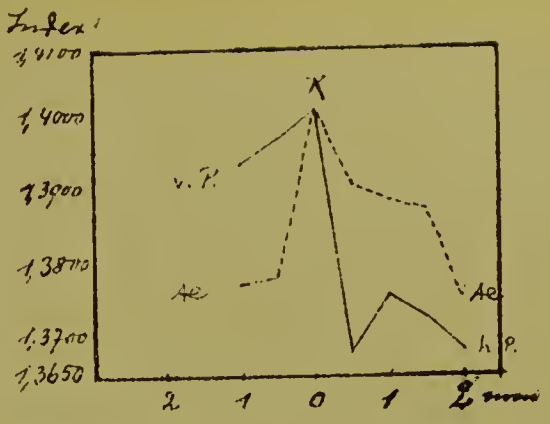
Knabe, 1 Mon. 24h p. mrt.



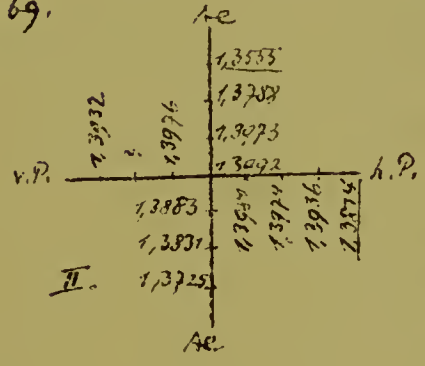
68. Mensch.



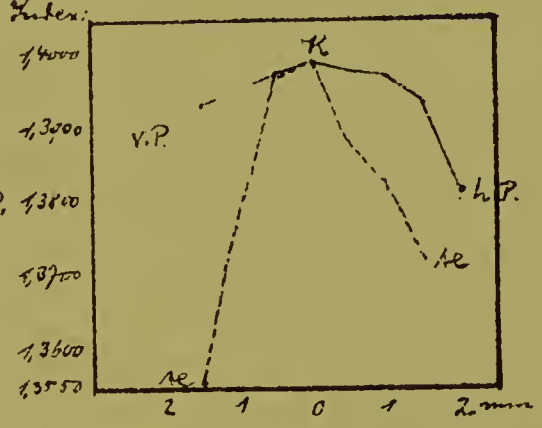
Knabe, 3 Mon. 36h p. mit.
I.



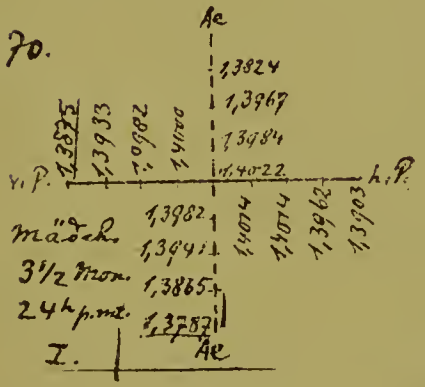
69.



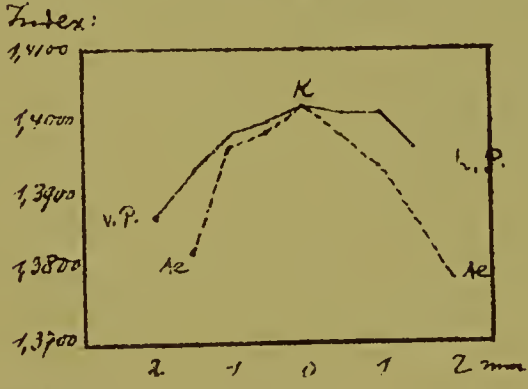
II.



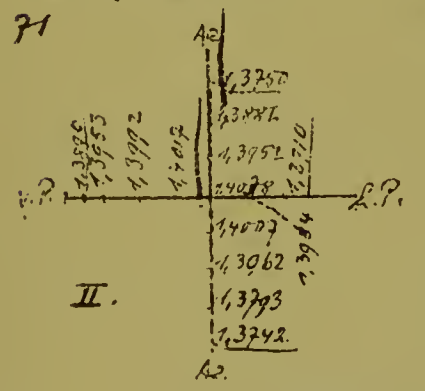
70.



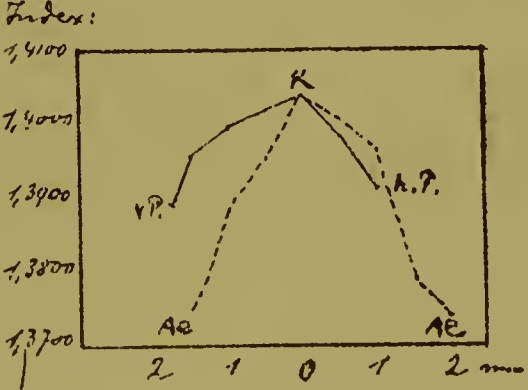
Mädch. 3½ Mon. 24h p. mit.
I.



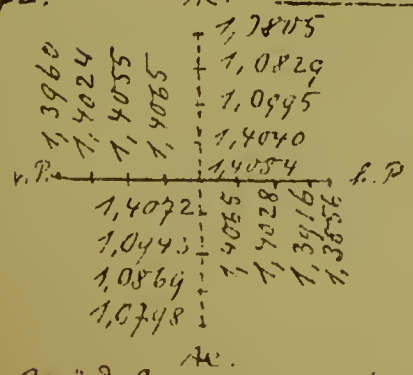
71



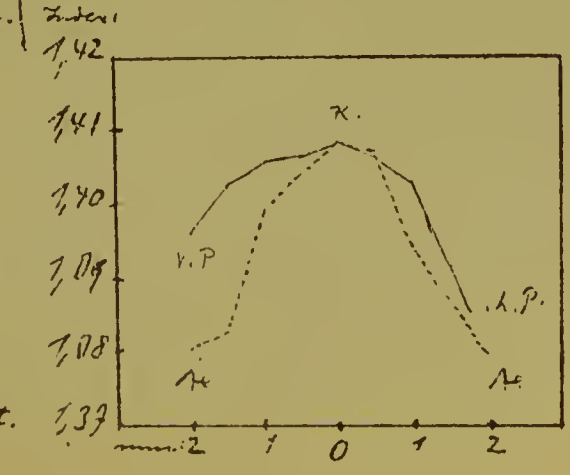
II.



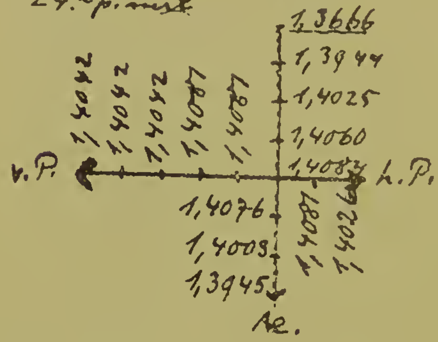
72. Ae: Mensch.

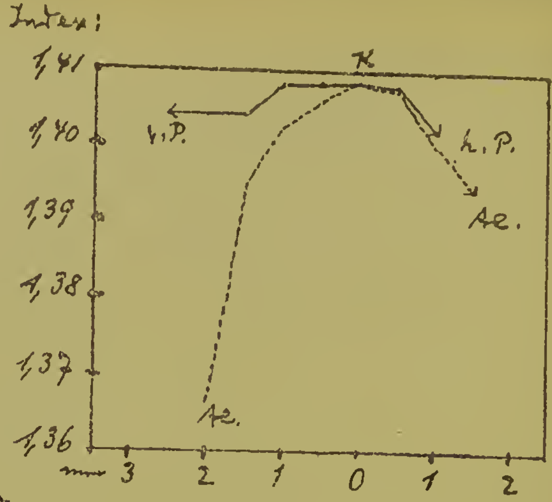


Mädch. 5 Mon. 27h p. mit.

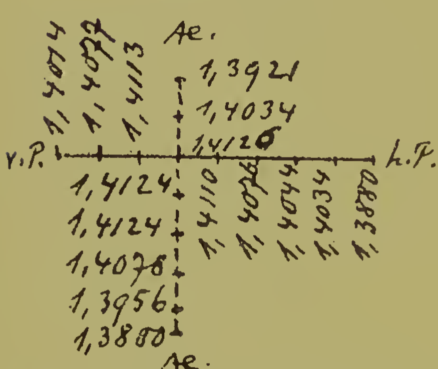


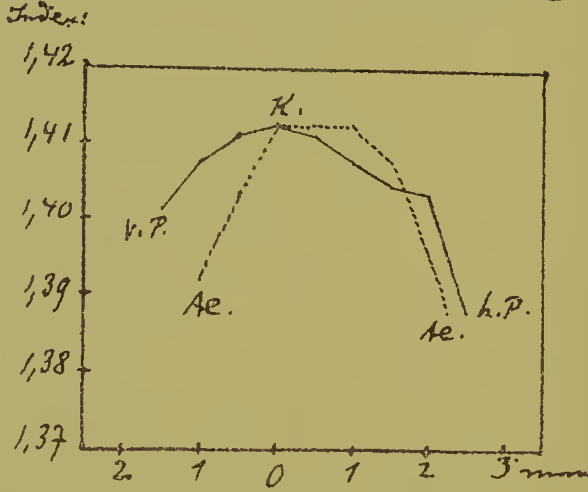
73 **Mensch**, Knabe, 1 Jahr, 24.h p. mort.



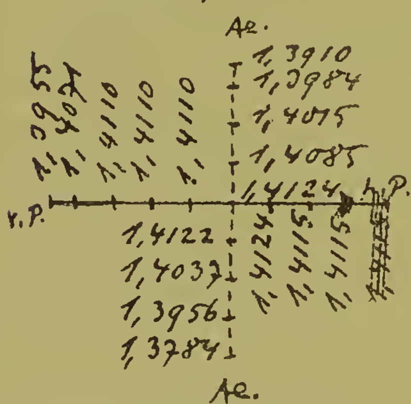


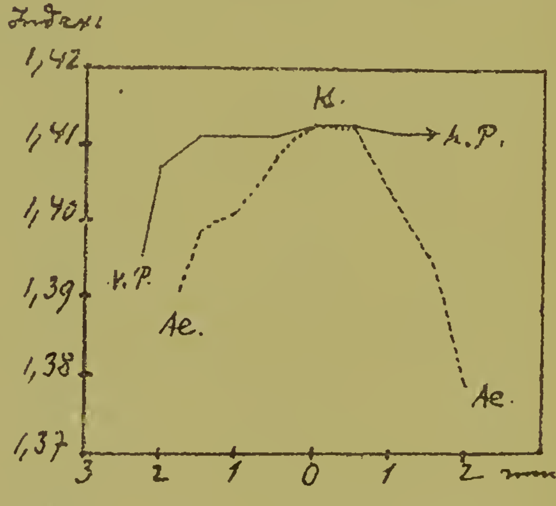
74. **Mensch**, Mädch. 3 1/3 Jhre, I. 18h p. mort.



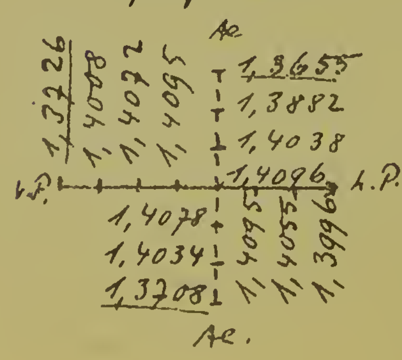


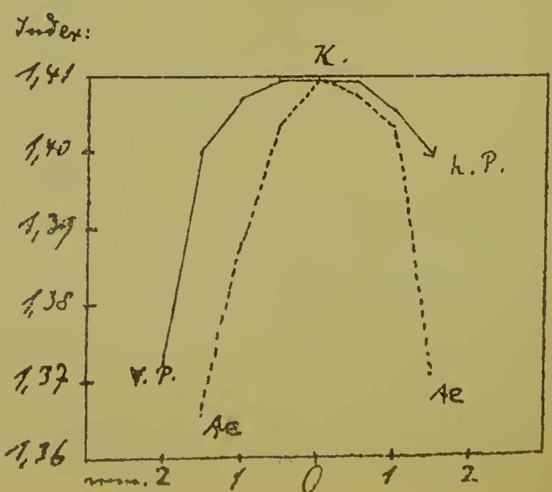
75. **Mensch.** Mädch. 3 1/3 Jahre, II. 18h p. mort.



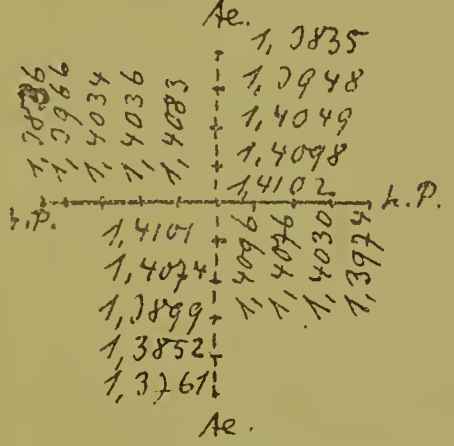


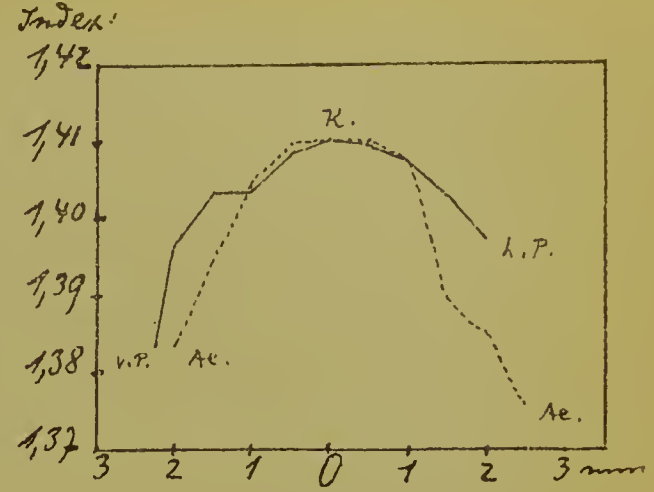
76. **Mensch.** Knabe, 7 Jahre, 37h p. mort.



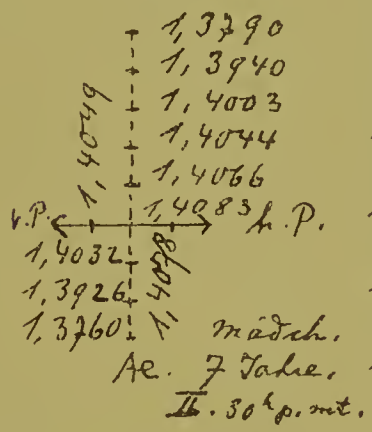


77. Mensch, mädch. 7 Jahre, I. 30 h p. mit.

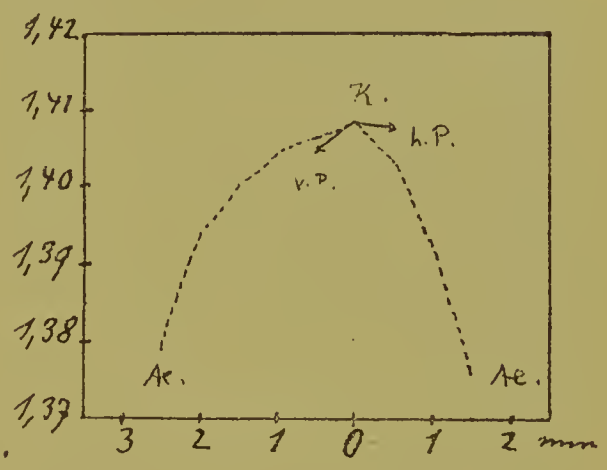




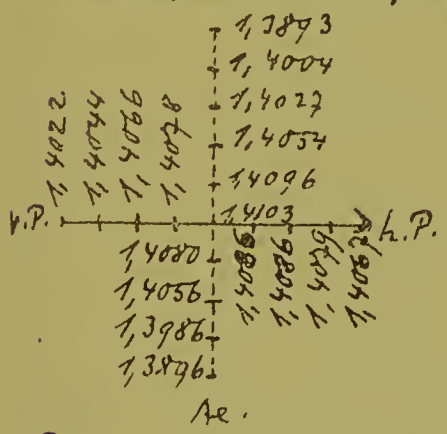
78. Mensch. Ae.

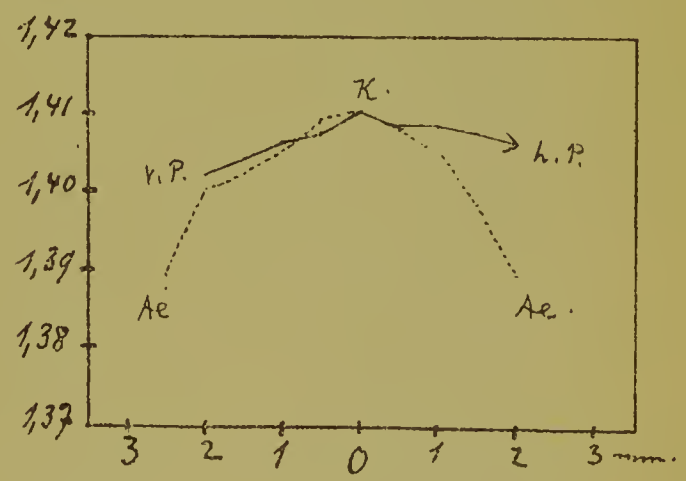


mädch. Ae. 7 Jahre. II. 30 h p. mit.

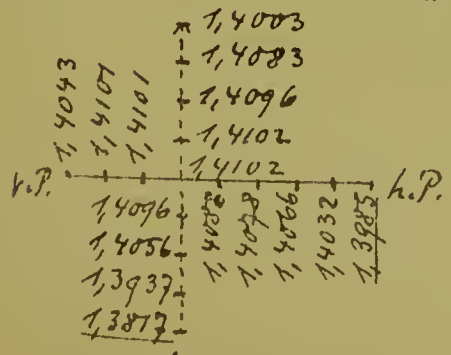


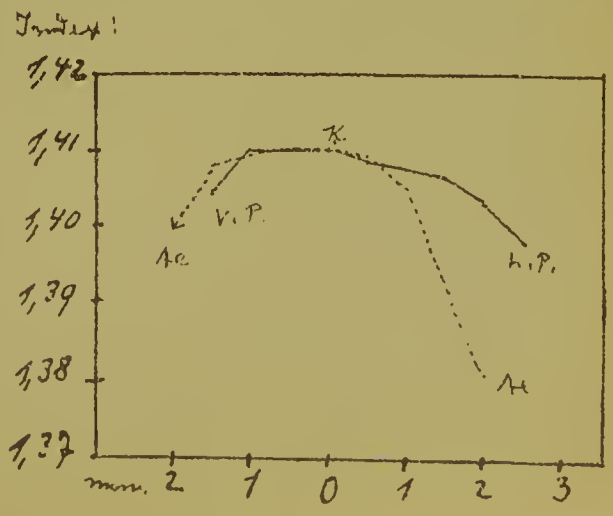
79. Mensch. mädch. 20 Jhre, Ae. I. 48 h p. mit.





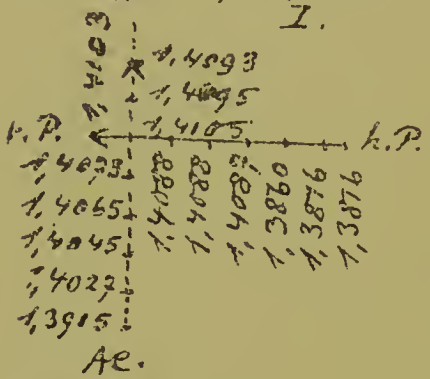
80. Ae. Mensch.

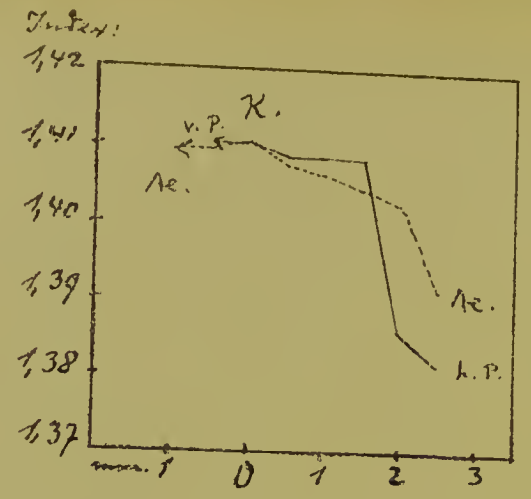




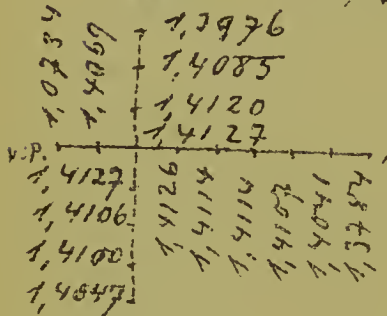
mädch., 20 Jahre, II. 48 h p. mit.

81. Mensch.
Mann, 27 Jahre,
Ae. 22h p. mt.
I.

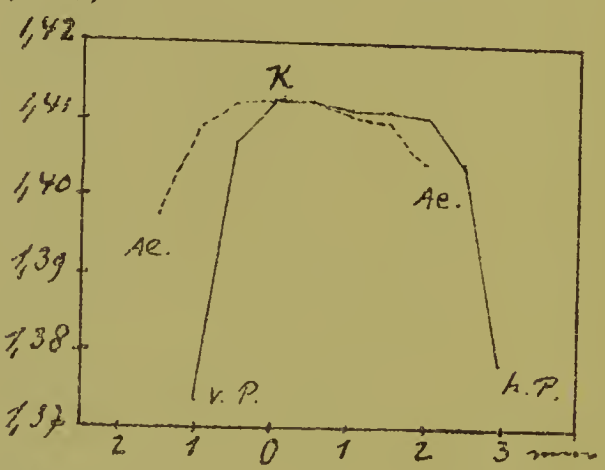




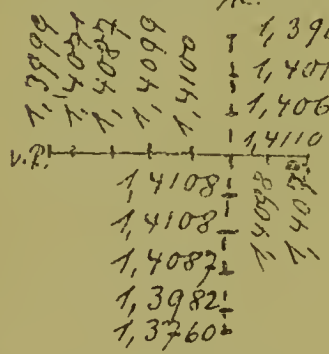
82. Mensch, Mann, 27 Jahre,
Ae.



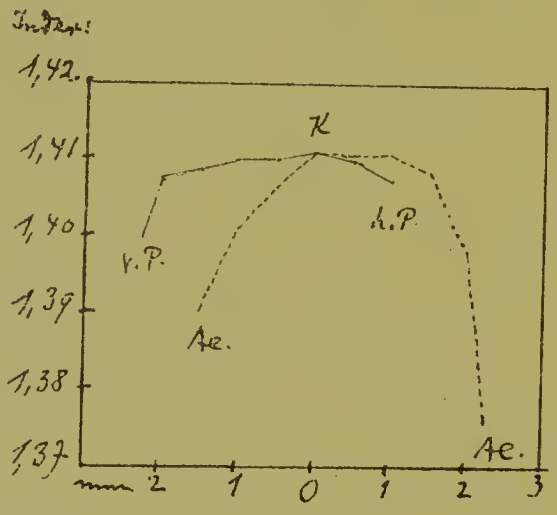
22h p. mt. II.



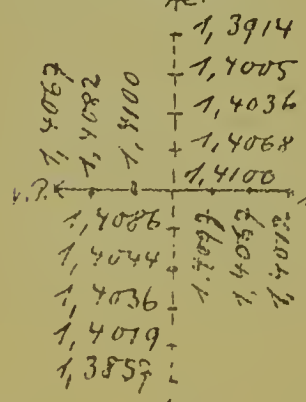
83. Mensch, Frau,
Ae.



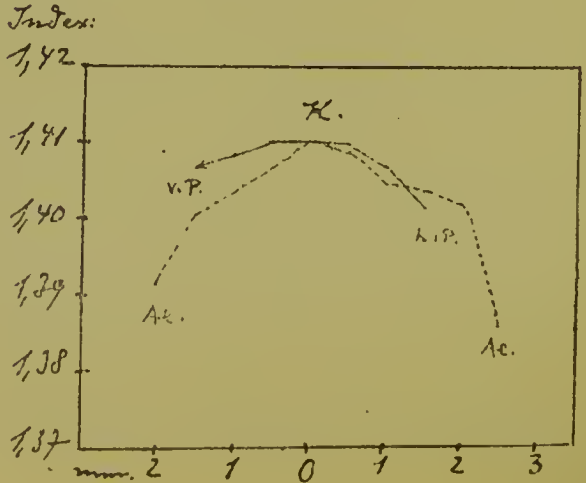
31 Jahre, 28h p. mt.



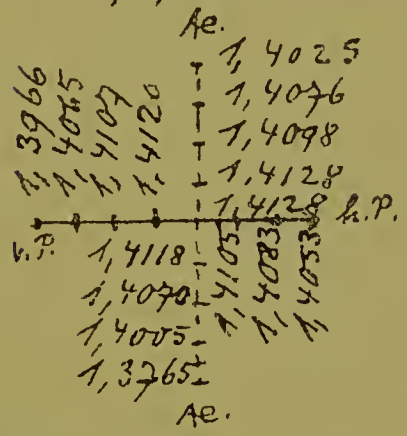
84. Mensch.
Ae.

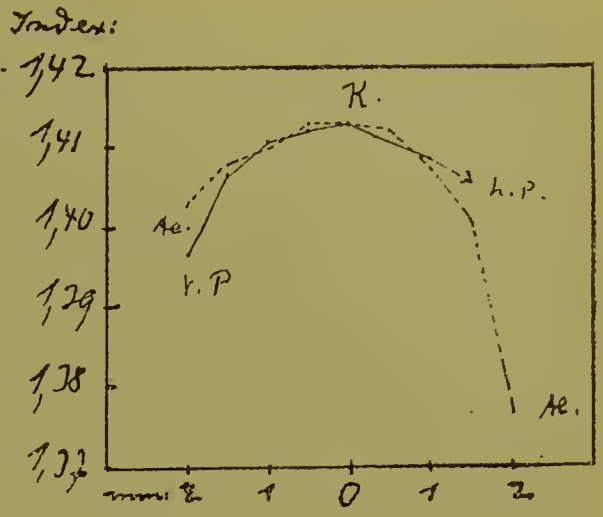


Frau, 37 Jhre, 40h p. mt.

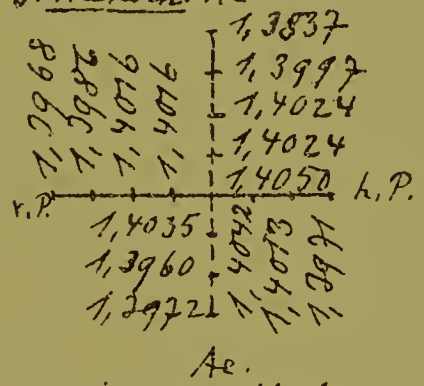


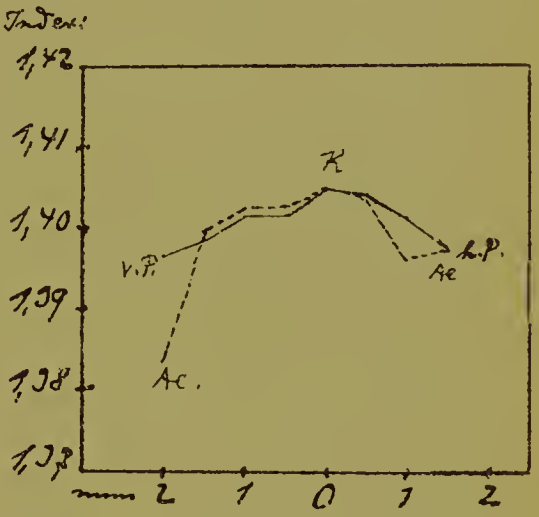
85. Mensch.
Frau, 39 Jhre, 27h p. mrt.





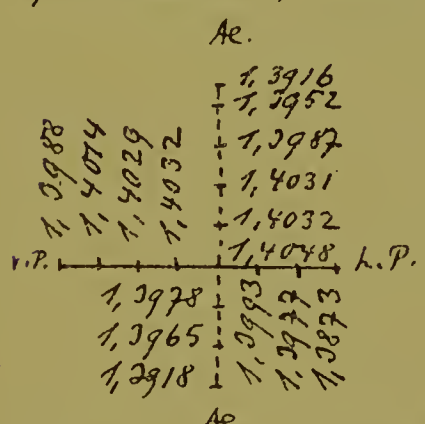
86. Mensch. Ae.

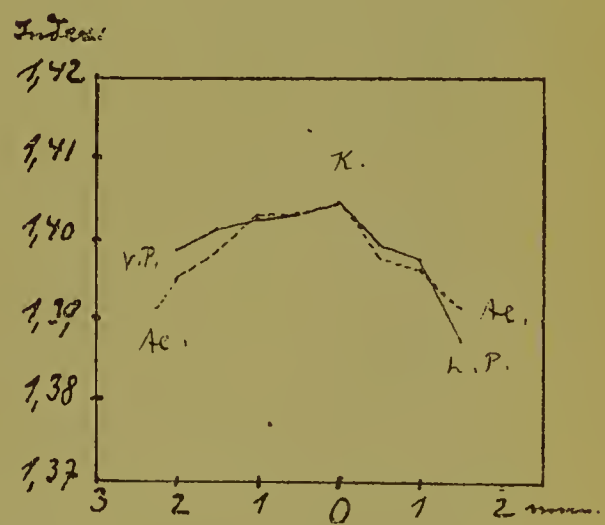




Mann, 40 Jahre,
10h p. mrt. I.

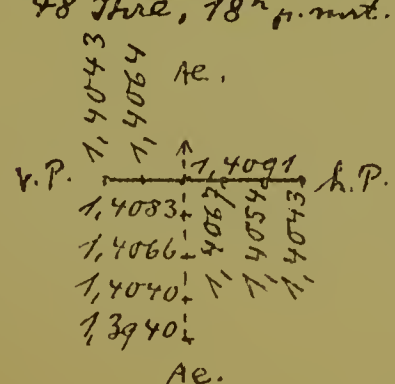
87. Mensch, Mann,

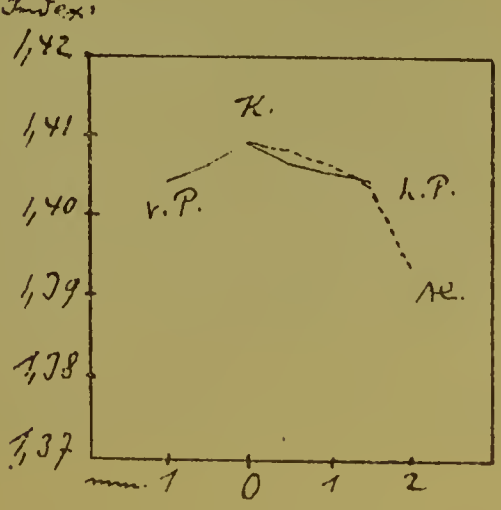




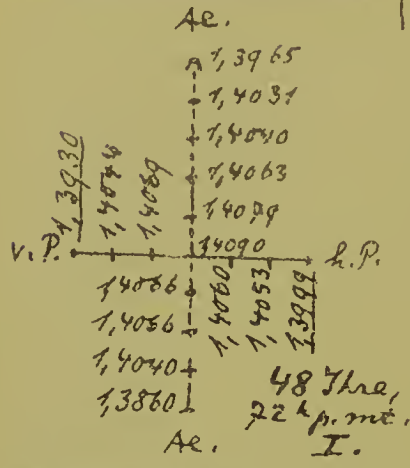
40 Jahre, 10h p. mrt. II.

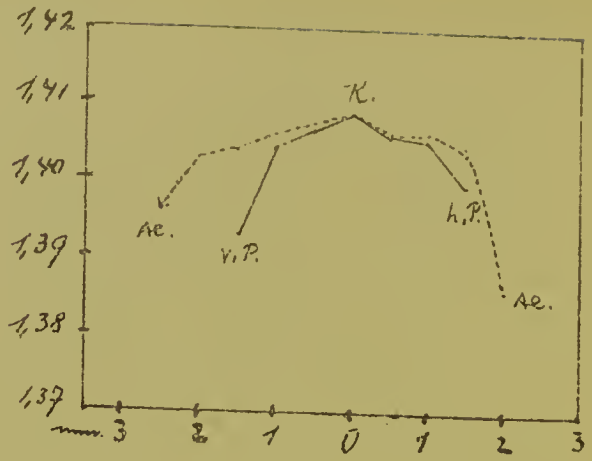
88. Mensch, Mann,
48 Jhre, 18h p. mrt.



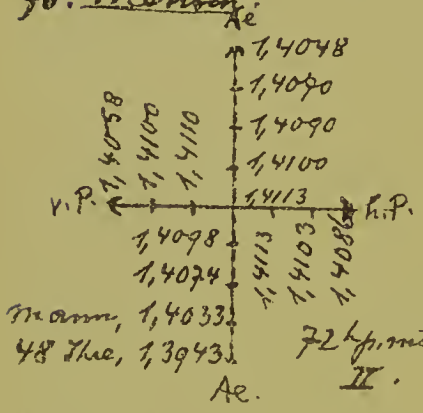


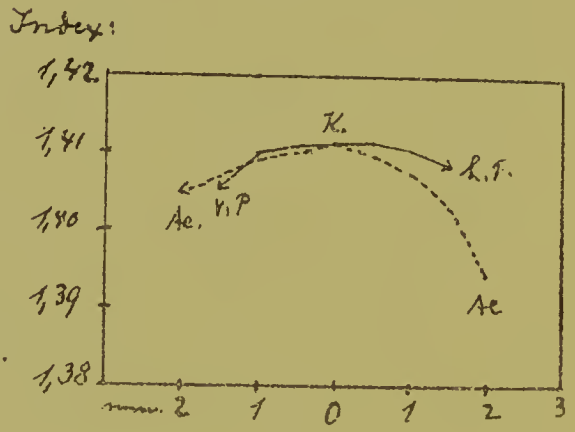
89. Mensch, Mann, 48 Thre, 72 h p. mt. I.



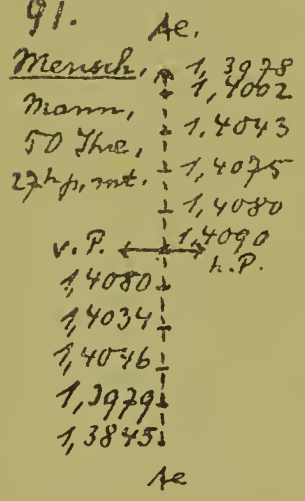


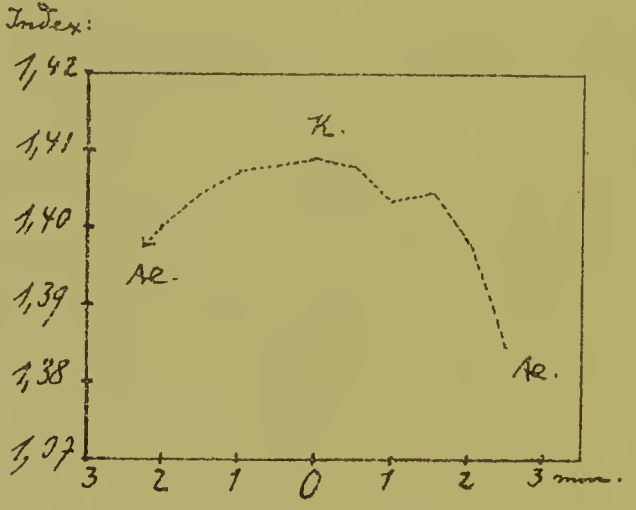
90. Mensch, Mann, 48 Thre, 72 h p. mt. II.



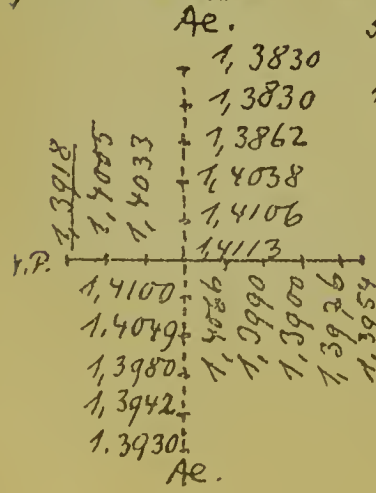


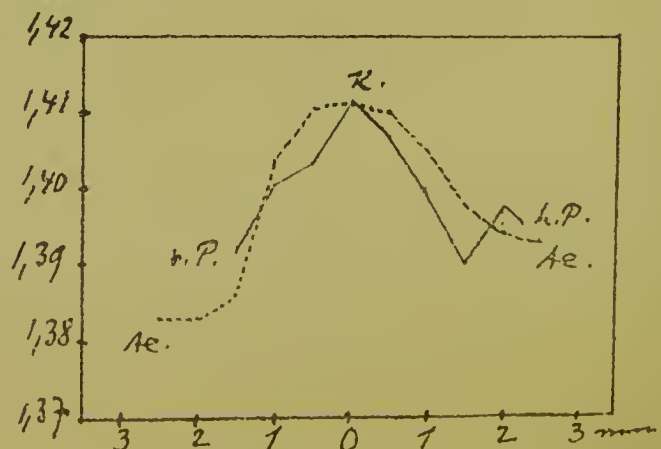
91. Mensch, Mann, 50 Thre, 72 h p. mt.



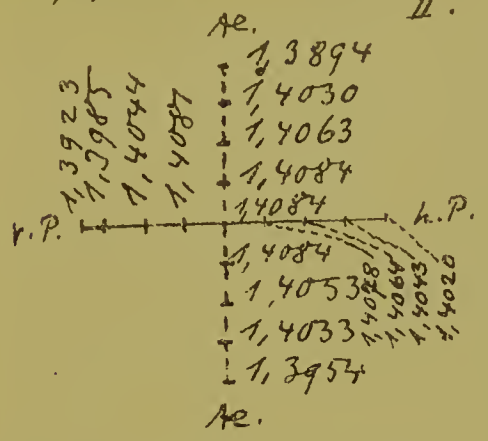


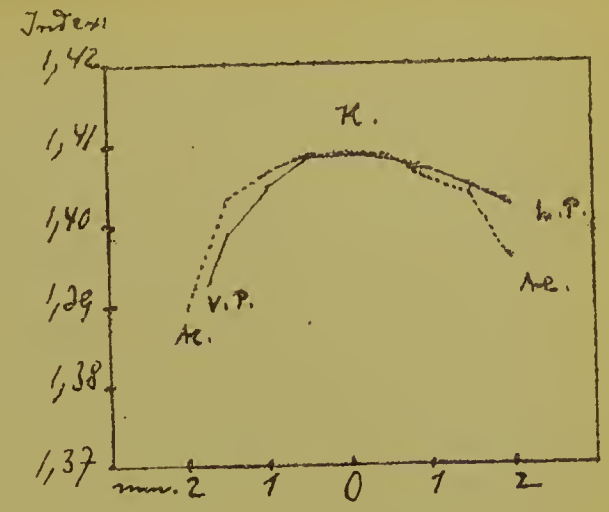
92. Mensch, Frau, 52 Thre, I. 17 h p. mt.



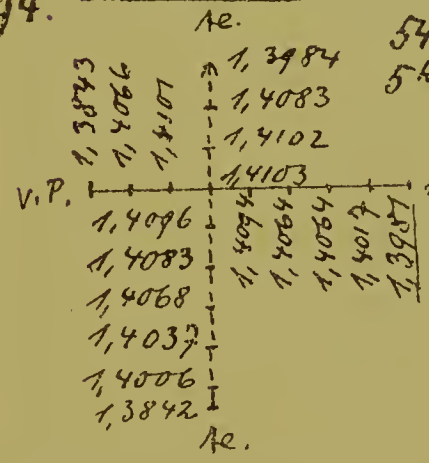


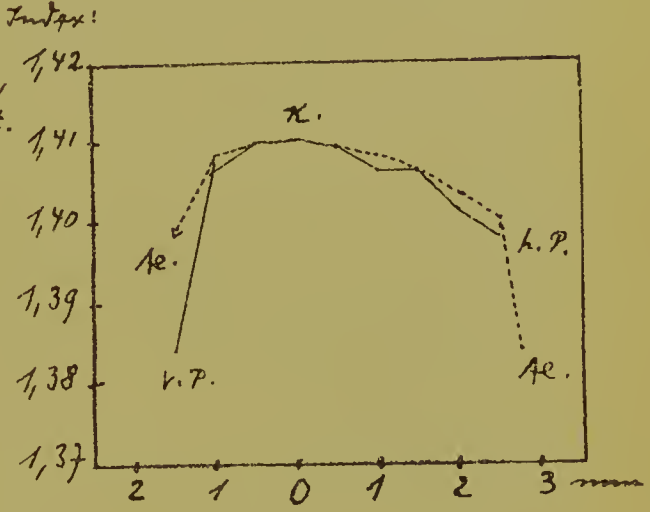
93. Mensch, Frau, 52 Jhre, 17 h p. mt. II.



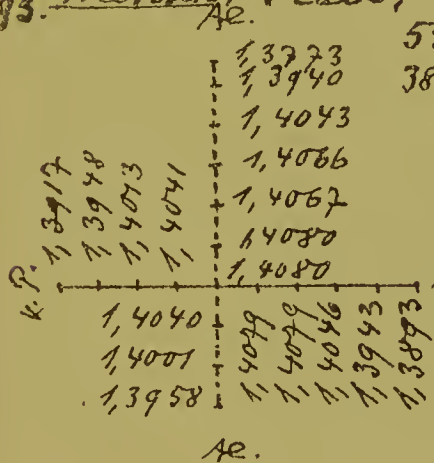


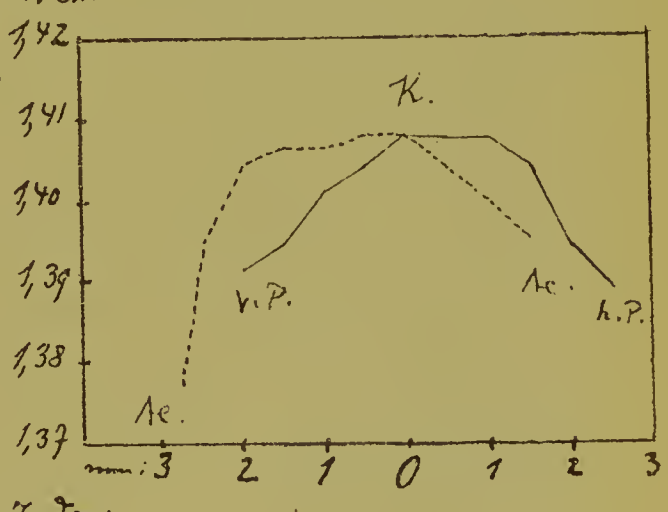
94. Mensch, Mann, 54 Jhre, 5 h p. mt.



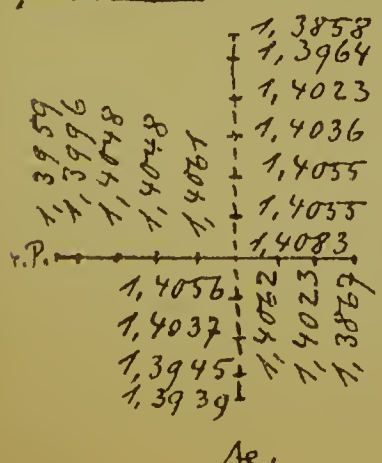


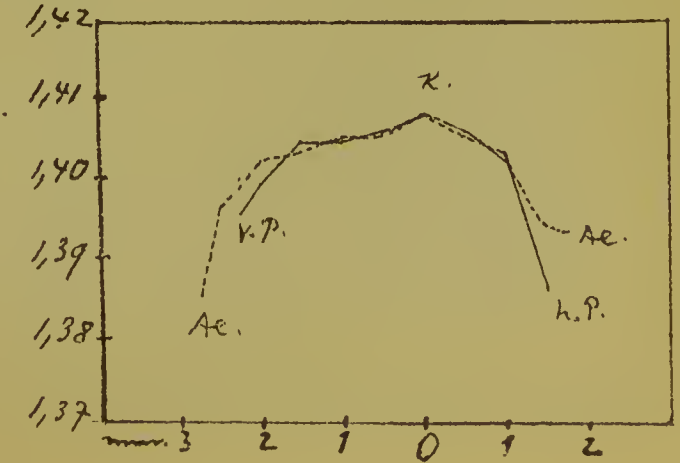
95. Mensch, Frau, 55 Jhre, 38 h p. mt. I.



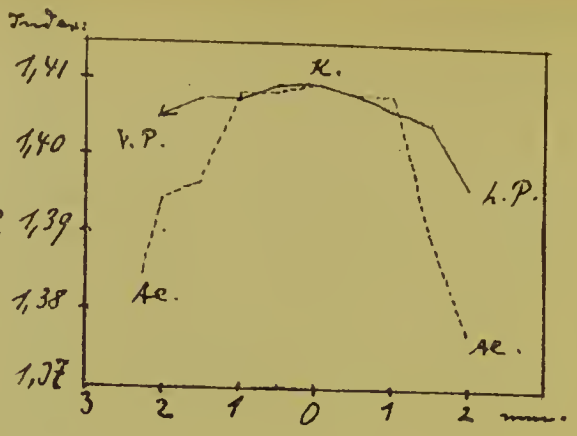


96. Mensch, Ae. Frau, 55 Jahre, 38 h p. mt. II.



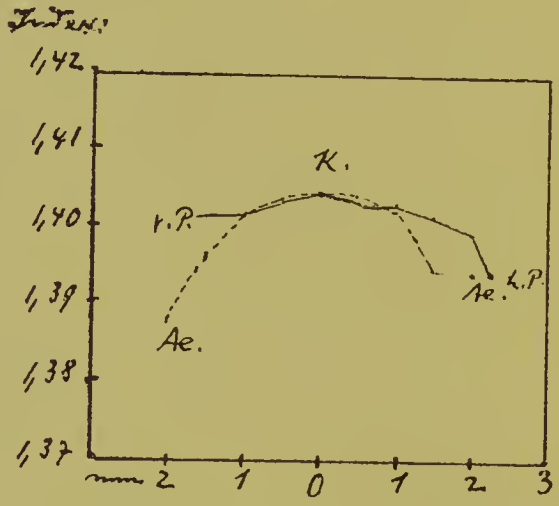


97. Mensch. Ae. 1,3848 / 1,2945 / 1,3969 / 1,4084 / 1,4084 / 1,4095 / 1,4084 / 1,4082 / 1,3903 / 1,3770 — V.P. — h.P. — 58 Jhre, Mann, Ae. 30h p.mt.



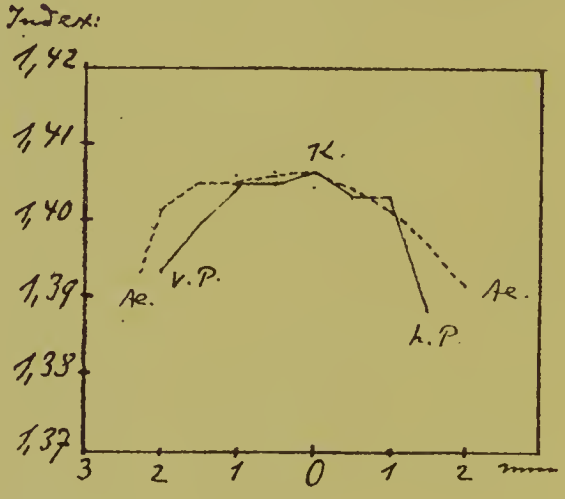
98. Mensch, Frau, 59 Jhre, 39h p.mt. I.

Ae. 1,3877 / 1,3968 / 1,4074 / 1,4038 / 1,4014 / 1,4043 / 1,4022 / 1,3948 / 1,3942 — V.P. — h.P. — Ae.



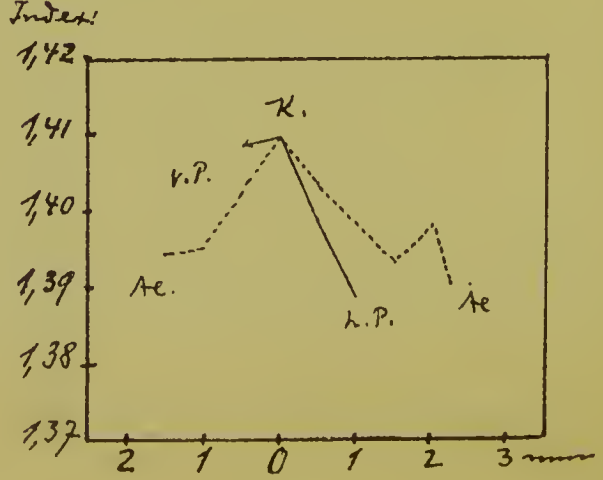
99. Mensch, Frau, 59 Jhre, II.

Ae. 1,3935 / 1,4014 / 1,4049 / 1,4049 / 1,4060 / 1,4064 / 1,4045 / 1,4015 / 1,3972 / 1,3918 — V.P. — h.P. — 39h p.mt. Ae.

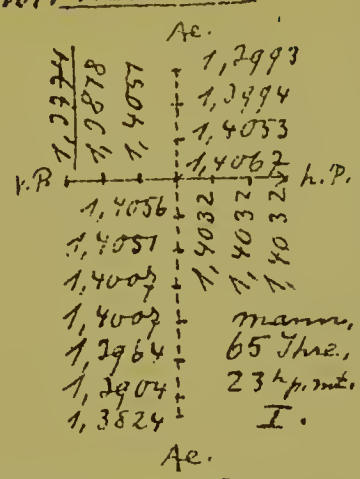


100. Mensch,

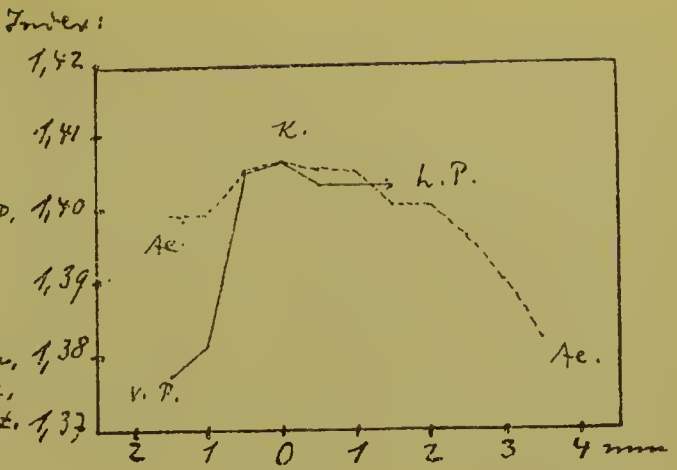
Ae. 1,3942 / 1,3957 / 1,4025 / 1,4095 / 1,4036 / 1,3987 / 1,3931 / 1,3980 / 1,3900 — V.P. — h.P. — Mann, 61 Jhre, Ae. 24h p.mt.



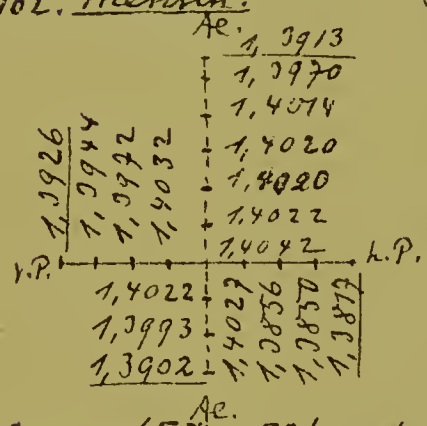
101. Mensch.



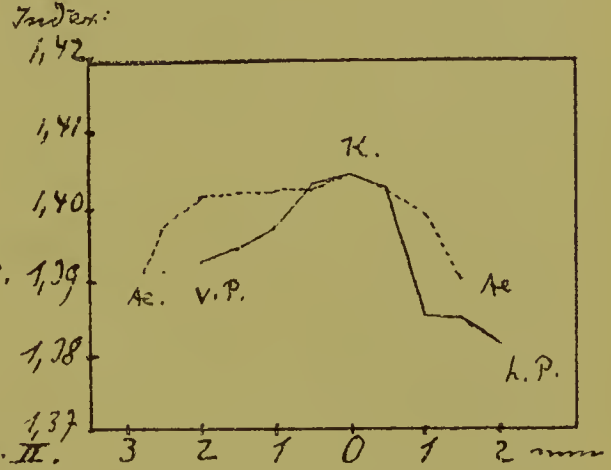
Mann, 65 Thre., 23h p. mt. I.



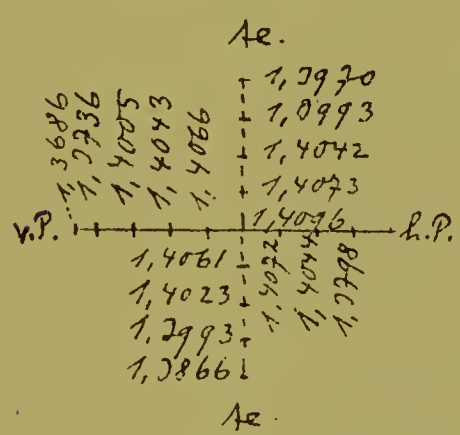
102. Mensch.



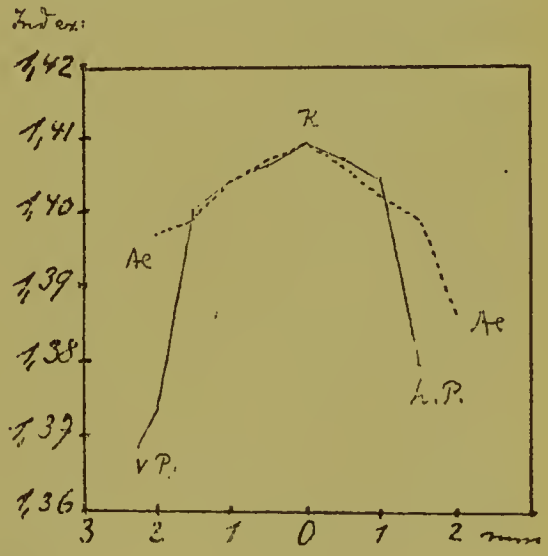
Mann, 65 Thre, 23h p. mt. II.



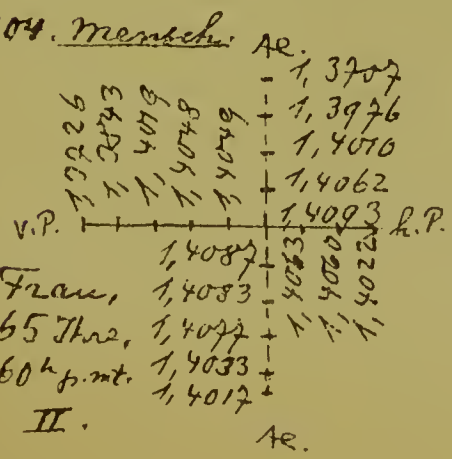
103. Mensch. Frau,



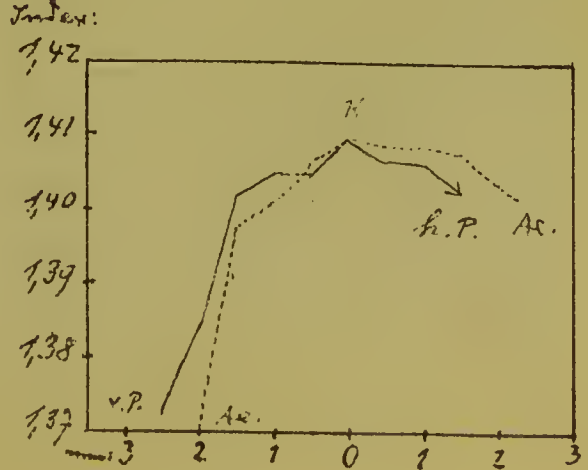
65 Thre, 60h p. mt. I.



104. Mensch.



Frau, 65 Thre, 60h p. mt. II.

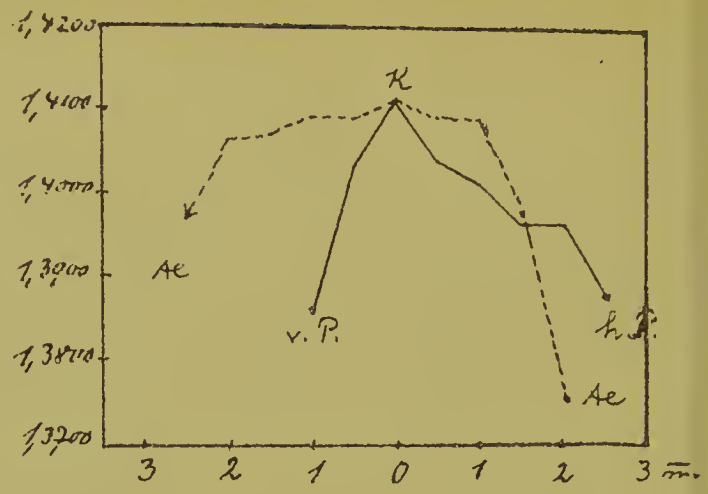


105.
Mensch,
Frau,

72 Thre,
36 h p. mt.
I.

Ae.
1,3972
1,4063
1,4067
1,4090
1,4090
1,4110
1,3857
1,4030
v.P.
h.P.
1,4093
1,4086
1,3976
1,3754
1,4037
1,4012
1,3964
1,3964
1,3877
Ae.

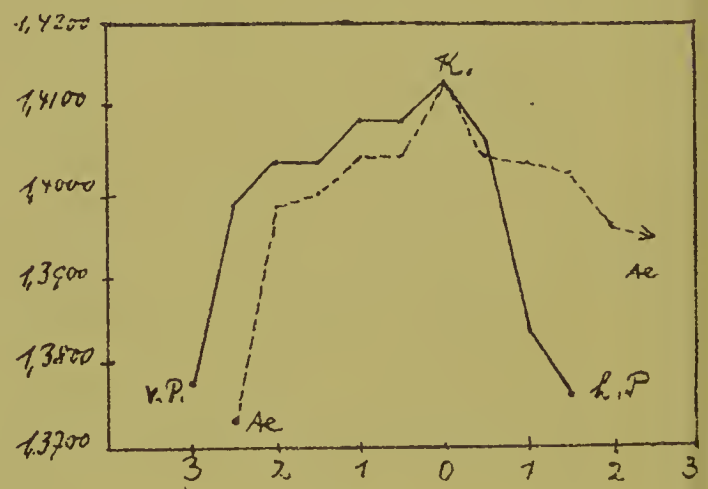
Index:



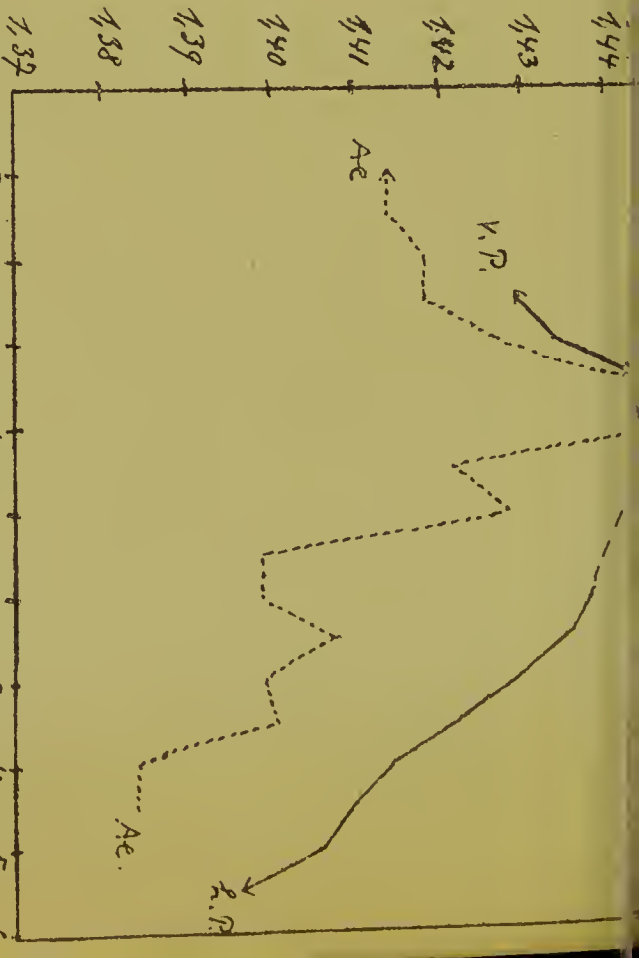
106
II.

Ae.
1,3731
1,3981
1,3997
1,4040
1,4040
1,4129
1,3778
1,3982
1,4034
1,4034
1,4083
1,4083
v.P.
h.P.
1,4094
1,4084
1,4069
1,4011
1,3945
1,4056
1,3830
1,3757
Ae.

Index:



107. Mensch.

Kind,
2 1/2 Thre.
Ohne Kapsel, nicht gefroren.

Ae.
1,4142
1,4142
1,4187
1,4187
1,4274
1,4448
1,4476
1,4294
1,4339
1,4452
v.P.
h.P.
1,4220
1,4287
1,3994
1,3994
1,4083
1,3998
1,4012
1,3849
1,3848
1,4390
1,4366
1,4303
1,4231
1,4152
1,4107
1,4066
1,3973
Ae.